mente proporcionais a $\omega$, pelo que nas zonas de $\varepsilon'$ constante e de valor $\varepsilon_z$ têm um andamento hiperbólico com a frequência, tendendo para zero com o aumento da frequência (fig. 4).

$$\operatorname{tg} \delta_C = \frac{\sigma_{do}}{\omega \varepsilon_o \varepsilon_z} \cdot \exp\left(-\frac{W}{kT}\right) \qquad (9)$$

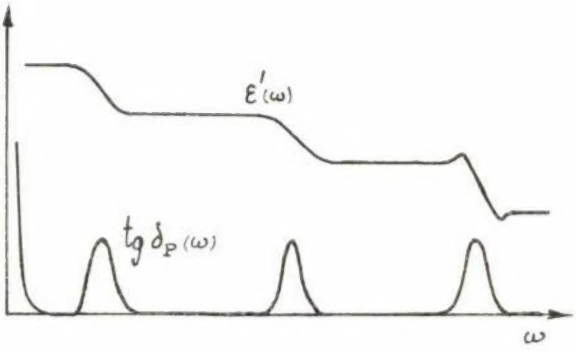



Fig. 4 — Variação do factor de perdas de um dieléctrico devido à condução e à polarização com a frequência.

### 8.2. Perdas de polarização

O factor de perdas de polarização, expresso por $\operatorname{tg} \delta_P = \varepsilon''/\varepsilon'$, só tem valor apreciável nos intervalos de relaxação, que no caso da polarização de orientação assume o valor (devido às equações de Debye)

$$\operatorname{tg} \delta_{P0} = \frac{(\varepsilon_z - \varepsilon_\infty)\,\omega\,\tau}{\varepsilon_z + \varepsilon_\infty (\omega\,\tau)^2} \qquad (10)$$

e anàlogamente para os outros tipos de polarização.

Esta dependência das perdas de polarização com a frequência apresenta-se em geral nos sólidos pela contribuição das perdas interfaciais, de orientação e de distorsão (fig. 4), e nos líquidos apenas os dois últimos casos.

### 8.3. Perdas de ionização

Quando a rigidez dieléctrica, fundamentalmente dependente da geometria dos eléctrodos, é excedida por efeito de ionização dão-se fenómenos de *disrupção incompleta* (que constituem as pré-descargas prelúdio de uma disrupção completa a longo prazo. As correspondentes perdas de ionização são portanto assinaláveis em meios gasosos. Nos dieléctricos líquidos surge idêntico fenómeno nas bolhas gasosas desenvolvidas por efeitos de vaporização.

Quando a tensão aplicada é suficientemente alta desenvolvem-se, nas cavidades existentes num dieléctrico sólido por imperfeição de fabrico, descargas eléctricas que definem o fenómeno de *descargas parciais*. Como estes fenómenos ocorrem em cada período da tensão, quanto maior for a frequência maior serão as correspondentes perdas totais $P_{DP}$ numa relação de proporcionalidade (fig. 5-b).

Simplificadamente o dieléctrico equivale à série da capacidade da cavidade $C_1$ com a capacidade $C_2$ da parte do dieléctrico entre as faces da cavidade e dos eléctrodos, tendo em paralelo a capacidade do restante dieléctrico. A primeira descarga parcial surge quando a tensão na cavidade atinge o valor da tensão de ignição ou de escorvamento $V_D$ caindo então a tensão na cavidade até zero, e apagando-se o plasma respectivo. O processo repete-se quatro vezes por período quando a tensão aplicada corresponde à tensão de inserção das descargas parciais $V_I = \sqrt{2} \cdot [(C_1 + C_2)/C_2]\, V_D$.

Elevando a tensão aplicada ao dieléctico aumenta a tensão da cavidade de modo que por cada variação da tensão aplicada de $\Delta V = V_I$ surge novo conjunto de quatro descargas parciais por período, pelo que o número de fenómenos por período é $N = 4\,(V - V_I)/V_I$.

A energia dissipada em cada descarga é $\Delta W = (C_1 + C_2)\, V_D^2/2$ e portanto $\Delta W = [C_2^2/(C_1 + C_2)]\, V_I^2$ sendo a energia dissipada por período $W = N\,\Delta W$, donde, com a potência activa $P_{DP} = W f$ e a potência reactiva $P_{r\,DP} = \omega C V^2$,

$$\operatorname{tg} \delta_{DP} = \frac{2\,C_2^2\,V_I}{\pi\,(C_1 + C_2)\,C} \cdot \frac{V - V_I}{V^2} \qquad (11)$$

expressão válida para $V \geqslant V_I$ (isto é, quando aparecem descargas parciais) e que apresenta um máximo para $V = 2\,V_I$ (fig. 5-a).

Este resultado afasta-se em certa extensão da experiência pois se admitiu que as descargas parciais se desenvolvem entre a tensão de ignição $V_D$ e zero o que não é certo como revela uma análise mais atenta das condições físicas do fenómeno [4].

Reinando uma certa tensão restante $V_r$ após o apagamento do plasma transitório do fenómeno o número de descargas parciais por período

aumenta na razão de $V_D - V_r$ ou seja $N = [4/(V_D - V_r)].(V - V_I)/V_I$ e $\Delta W = (C_1 + C_2).(V_D - V_r)^2/2$, donde, seguindo o raciocínio anterior,

$$\operatorname{tg} \delta_{DP} = \frac{(C_1 + C_2)\,(V_D - V_r)}{\pi\, C\, V_I} \cdot \frac{V - V_I}{V^2} \qquad (12)$$

expressão mais de acordo com a realidade e que é igualmente proporcional a $(V - V_I)/V^2$.

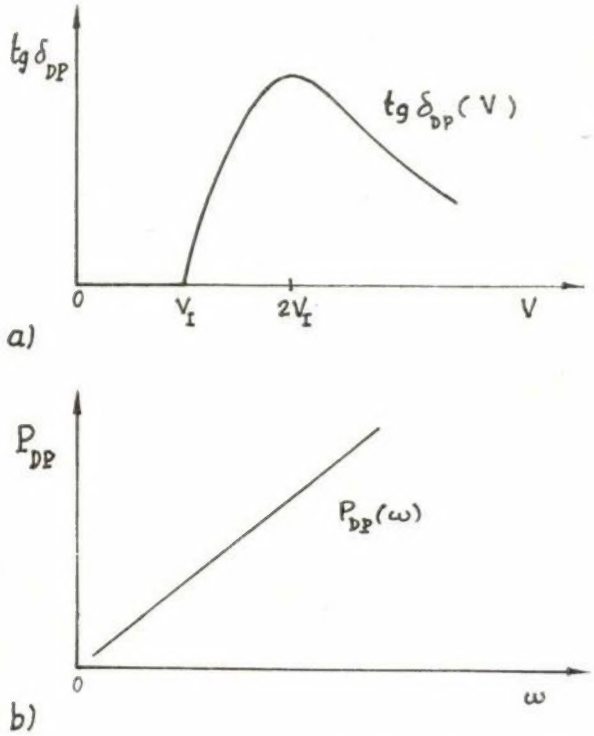



Fig. 5 — Perdas devido às descargas parciais internas de um dieléctrico sólido.
*a*) Factor de perdas.
*b*) Influência da frequência.

## 9. CONCLUSÕES

Modernamente o estudo dos dieléctricos tem suscitado delicados problemas de análise, intimamente ligados à constituição física da matéria. Neste aspecto a física atómica emprestou um ímpeto de enorme significado. Diversos aspectos todavia buscam ainda um esclarecimento fundamental à interpretação das perdas e à duração de vida dos materiais isolantes usados na electrotecnia.

Após a introdução dos esquemas clássicos de pensamento explicou-se o conceito de permitividade complexa e repartiram-se as perdas globais dos dieléctricos em tipos caracterizados por fenómenos particulares, analisando-se cada um dos casos seguindo as teorias hoje em dia aceites na literatura.

Especiais aplicações do estudo efectuado encontram-se no fabrico de cabos eléctricos, quer de isolamento seco quer de impregnação por óleo, em condensadores para as mais diversas tensões de serviço, nos transformadores de potência e de medida, nas máquinas rotativas desde os pequenos motores aos grandes geradores, e, de um modo genérico, em todos os casos onde se exige um material isolante sólido, líquido ou gasoso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


[1] A. R. VON HIPPEL: Dielectric Materials and Applications; John Wiley, New York (1958).

[2] J. C. ANDERSON: Dielectrics; Chapman and Hall, London (1964).

[3] S. WHITEHEAD: Dielectric Breakdown of Solids; Clarendon Press, Oxford (1951).

[4] H. DUARTE-RAMOS: Nova concepção do esquema equivalente de um dieléctrico sólido com cavidades; *Técnica* n.º 395 (1970) pag. 233-239.

# FEIRAS, CONFERÊNCIAS, EXPOSIÇÕES E CURSOS, NO MUNDO

| OBJECTIVO E PROGRAMA | LOCAL, DATAS, ORGANIZAÇÃO, INFORMAÇÕES |
|---|---|
| Salão Internacional de Tratamentos de Superfícies e Acabamento Industrial | Paris, 7-12 Junho-71, C.N.I.T., 4, Place de la Défense<br>92 — Paris — Puteaux |
| Österreichische Wasserwirtschaftstagung<br>Tema:<br>Forças Hidráulicas | Mill Statt/Kärnten (Áustria)<br>7-12 Junho-71<br>Österreichister Wasserwirtschaftstagung<br>A-1010 Wien, An Der Hülben, 4 (Áustria) |
| «Pro Aqua», 1971 | Basel, 8-12 Junho-71<br>Secrétariat «Pro-Aqua», Postfach Ch 4000, Basel 21, (Suiça) |
| Propack — Salão Internacional de Embalagem | Bruxelas, 8-13 Junho-71 |
| XXIII Assembleia Geral da A.I.S. — Association Internationale de la Savonnerie et de la Dètergence | Burgenstock, Suiça, 9-11 Junho-71 |
| 14.ª Assembleia Geral Anual da IFMA — International Federation of Margarine Associations | Ostende, Bélgica, 9-11 Junho-71<br>Association Professionnelle de l'Industrie Margarinière Belge |
| 12.ª Feira Internacional de Lisboa | Lisboa, 9-23 Junho-71<br>AIP |
| Feira Internacional de Poznan | Poznan, Polónia, 13-22 Junho-71 |
| Curso de Verão da IURN<br>Temas:<br>Teoria da Interacção Inelástica de Partículas<br>Produção de Partículas Múltiplas de Alta Energia<br>Aplicação da Teoria da Difusão Múltipla<br>Interacção Electromagnética e Interacção Fraca<br>Equação de Schrodinger para Fenómenos Relativistas a Dois Corpos<br>Estudo Fenomenológico de Reacções de Alta Energia | Varna (Bulgária), 13-27 Junho-71<br>W.O. Lock, Division ou Personnel, CERN<br>Ch — 1211, Genève 23, Suiça |
| IV Congresso Pan Americano Sobre Mecânica do Solo e Engenharia de Fundações | San Juan (Porto Rico), 14-18 Junho-71, Prof. K. Lee, Dept. of Engineering, Univ. of California, Los Angeles, 90024, (U S A) |
| A Estratégia de Desenvolvimento da Empresa<br>Tema:<br>A Empresa e o Progresso<br>Objectivos Gerais e Vias de Desenvolvimento<br>Criação do Poder de Intervenção<br>Estratégia de Desenvolvimento<br>Para Uma Ética Industrial | Lisboa, 14-18 Junho-71<br>INII |

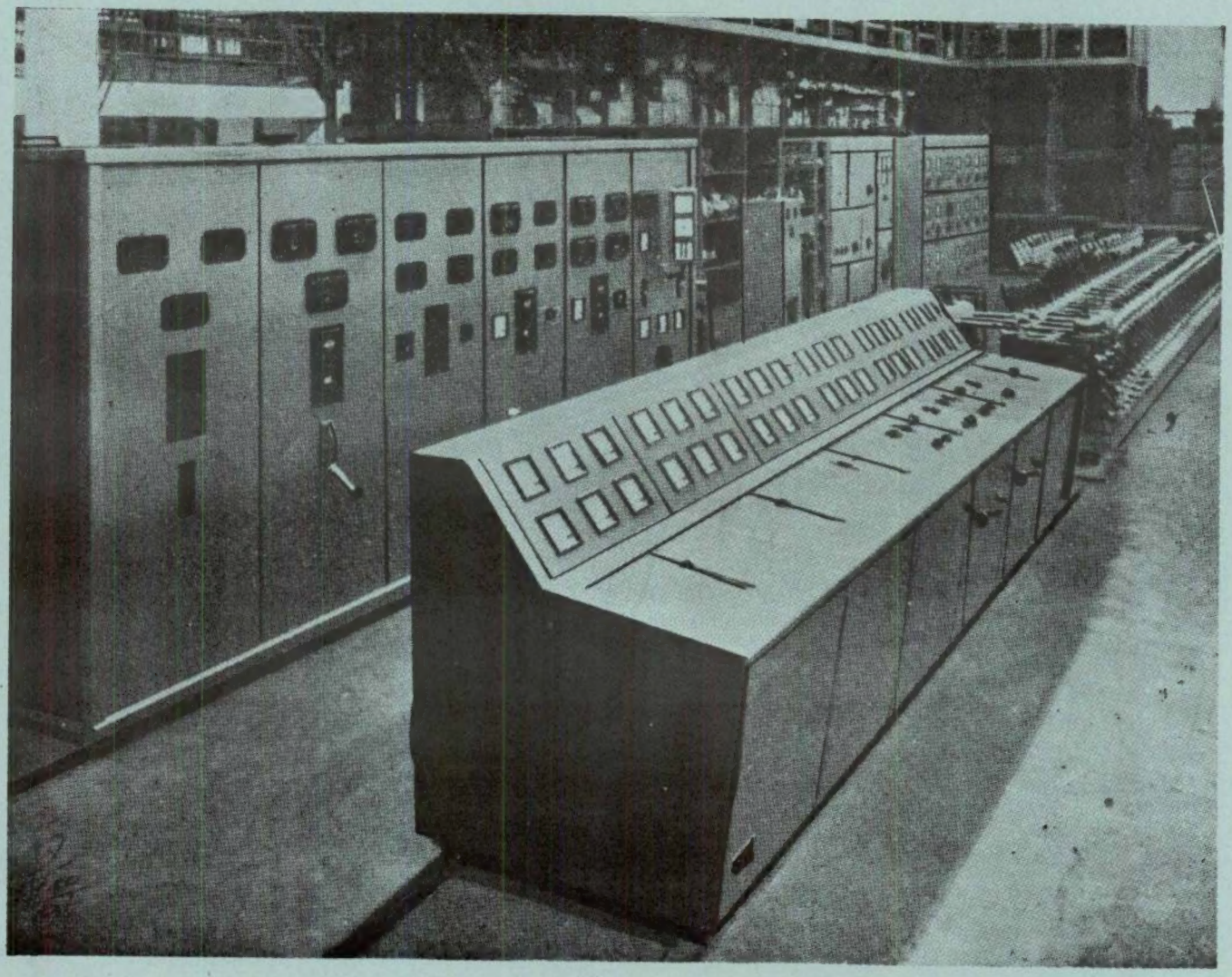
# JAYME DA COSTA, L^DA

MECÂNICA E ELECTRICIDADE EM TODAS AS APLICAÇÕES

PORTO
Praça da Batalha, 12
Telef. 2 28 12 (PPC)

LISBOA
Rua dos Correeiros, 14
Telef. 32 70 35 (PPC)

LUANDA
Cx. Postal 5174
Telef. 4743

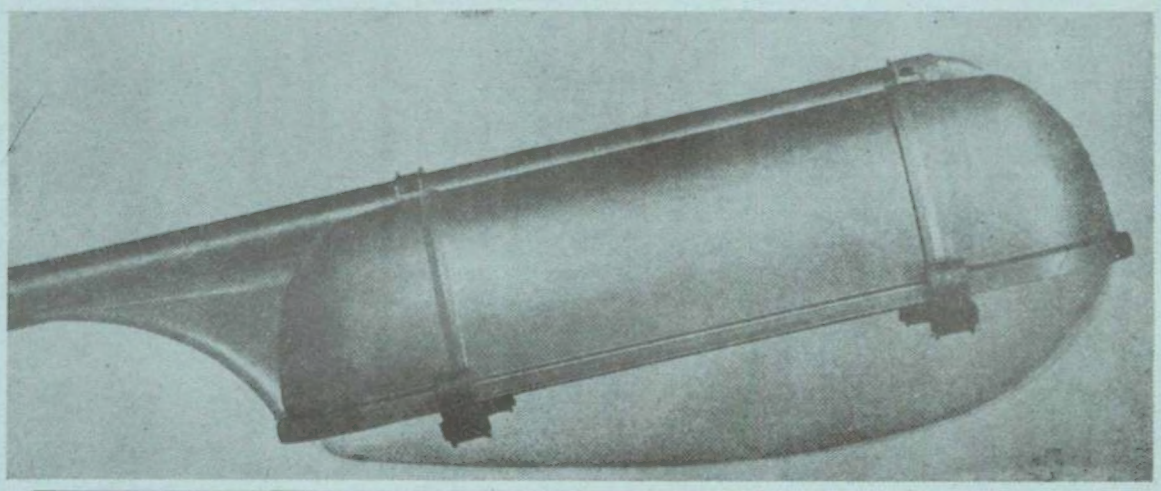


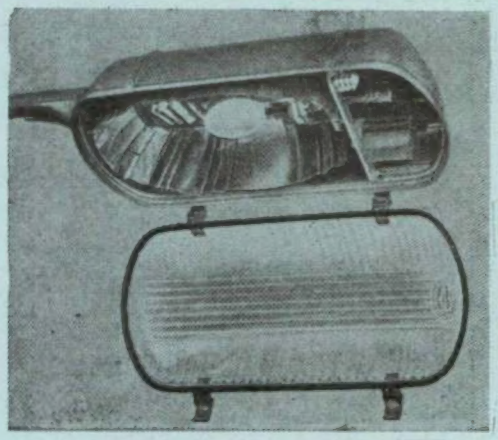
**Material fabricado nas nossas oficinas, pronto para expedição**

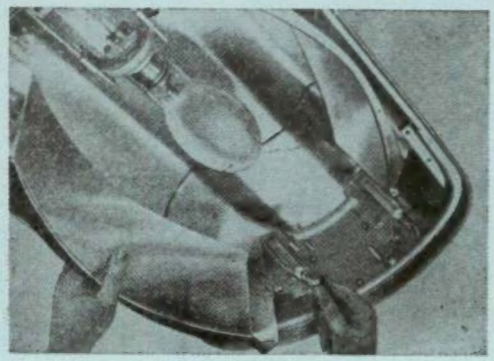
- Fabricação de aparelhagem eléctrica de alta e baixa tensão
- Equipamentos electromecânicos completos para centrais e fábricas
- Postos de transformação tipo monobloco
- Quadros blindados, capsulados e em armário
- Armaduras de iluminação de todos os tipos
- Contadores eléctricos e instrumentos de medida
- Telemedida e telecomando
- Instalações elevatórias de água
- Instalações de saneamento e esgotos
- Ferramentas de corte
- Motores Diesel industriais e marítimos
- Fogões eléctricos
- Frigoríficos
- Ventilação e condicionamento de ar
- Aparelhagem de Raios X e electromedicina

# ARMADURA DE ILUMINAÇÃO

TIPO **HM**







1. Aparelhos para iluminações de prestígio.
2. Reflectores reguláveis de grande superfície alojados em carcaças amplas.
3. Modelos com e sem incorporação dos acessórios vapor de mercúrio.

**CONSTRUÇÕES ELÉCTRICAS SCHRÉDER, LDA.**

P. JOSÉ FONTANA, 25 - LISBOA 1 - Telef. 56 10 01

C. D. U. 669.112.227.1 : 620.186.8

# GRÃO AUSTENÍTICO: SUA FORMAÇÃO, INFLUÊNCIA E AVALIAÇÃO

por ANTERA V. DE SEABRA
Engenheira química, Investigadora do Serviço de Materiais de Construção, Chefe da Divisão de Química do LNEC

RESUMO

*Após a definição de grão austenítico o autor expõe as considerações fundamentais relativas à formação e crescimento do grão e à incidência do tamanho do grão nos tratamentos térmicos e nas características mecânicas do aço. Cita em seguida os principais métodos de avaliação do tamanho do grão austenítico e aprensenta uma sistematização da aplicação desses métodos consoante o tipo de aço.*

SYNOPSIS

*After defining austenitic grain the author presents some fundamental considerations regarding the formation and growth of the grain, and the incidence of grain size in thermic treatments and on the mechanical characteristics of the steel. She proceeds by quoting the principal methods of estimating the austenitic grain size, and presents a systematization of the application of these methods in accordance with the type of steel.*

## 1 — INTRODUÇÃO

Desde o final do século XIX, numerosos estudos visaram a compreensão dos factores que subtilmente influíam na qualidade do aço, independentemente da composição química. Entre esses factores avultou, logo desde o início, a importância do tamanho do grão, mas foi sobretudo depois de 1920 que se conseguiram estabelecer os conceitos dos diversos tipos de grão e a sua correlação com as propriedades e o comportamento do material.

Entre os diversos grãos que se podem definir — *grão austenítico, grão ferrítico, grão perlítico, grão bainítico, grão martensítico, grão de fractura* e *grão de vazamento* — tem particular interesse o primeiro, dado que, se por um lado depende das condições de vazamento do aço, por outro comanda o desenvolvimento de qualquer dos outros grãos e, consequentemente influi nas propriedades do aço.

De acordo com a definição de P. Bastien [1], «*grão austenítico* do aço, conhecido também sob os nomes de *grão* $\gamma$ e de *grão a quente*, é aquele cujo elemento é o indivíduo cristalino da solução sólida $\gamma$ ou austenite, existente acima do ponto de transformação $A_3$ do aço».

Considera-se como *tamanho de grão* [2] a medida das áreas ou dos volumes dos grãos dum material policristalino, geralmente expressa como uma média quando as dimensões individuais são pràticamente uniformes. Esta média é dada pelo número de grãos por unidade de volume ou por unidade de área, mas é também correntemente expressa por um número conhecido como *n.º ASTM de tamanho de grão* — $N$ —, definido pela expressão:

$$n = 2^{N-1} \qquad (1)$$

em que $n$ é o número de grãos por polegada quadrada duma secção plana e para uma ampliação de 100 × [3]. Na classificação ASTM o tamanho de grão corresponde ao índice $N = 5$ (248 grãos/mm$^2$ = 3910 grãos/mm$^3$) separa os chamados *aços de grão grosso* dos *aços de grão fino*.

Pode ainda considerar-se o *diâmetro médio* do grão, ou seja, o diâmetro duma esfera de volume igual ao do grão cristalino, expresso em milímetros ou em micrómetros ($\mu$ m).

## 2 — FORMAÇÃO DO GRÃO AUSTENÍTICO E SEU CRESCIMENTO

O processo de formação da austenite — *austenitização* — inicia-se logo que a temperatura atinge o ponto $Ac_1$ e completa-se quando a temperatura alcança $Ac_3$. Os prévios tratamentos mecânicos ou térmicos sofridos pela peça, a velocidade de

aquecimento, a temperatura máxima atingida no arrefecimento, o tempo de manutenção desta temperatura e as dimensões da peça definem as *condições de austenitização.*

Ao ser alcançada a temperatura $Ac_1$, toda a perlite se transforma em austenite, originando-se no lugar de cada grão de perlite um grupo de pequenos grãos de austenite, cada um dos quais é proveniente dum germe formado nas interfaces cementite-ferrite, onde a energia livre é mais elevada. Estes pequenos grãos de austenite desenvolvem-se depois à custa da ferrite ou da cementite adjacente ao grão de perlite, consoante se trata dum aço hipoeutectóide ou hipereutectóide. No primeiro caso, com a subida de temperatura, a ferrite circunvizinha transforma-se por sua vez em ferro $\gamma$ e o carbono da austenite já formada difunde-se nos novos cristais de ferro $\gamma$ à medida que estes se vão formando, aumentando deste modo as áreas da austenite até que, ao atingir a linha G S ($Ac_3$) do diagrama de equilíbrio, a fase existente será ùnicamente austenite. Nos aços hipereutectóides, a austenite que se formou da perlite vai dissolver mais cementite à medida que a temperatura se eleva até atingir a linha E S (Acm), acima da qual o material é constituído exclusivamente por grãos de austenite como no caso anterior.

Tal como sucede em muitas reacções semelhantes, a velocidade de formação da austenite, fig. 1 [4], é inicialmente lenta, aumenta ràpidamente na vizinhança de 50 % de austenite transformada, e volta a decrescer para as percentagens

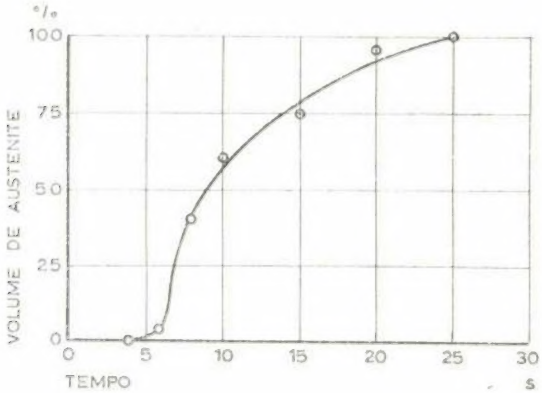



Fig. 1 — Curva de transformação perlite → austenite (seg. Vilella) [4]

elevadas. Estas velocidades, para um dado aço, são tanto maiores quanto mais elevada for a temperatura de austenitização. Os tempos necessários para o início da transformação são da ordem de muito poucos segundos nos aços-carbono, mas podem atingir centenas de segundos no caso dos aços com elementos carburígenos, em parte devido à lentidão da difusão dos elementos de liga em relação ao carbono. Isto explica que, para alguns aços, sejam necessárias temperaturas muito elevadas ou várias horas de aquecimento para assegurar uma completa solução dos carbonetos.

Cada ilha de austenite formada cresce até alcançar os limites vizinhos, e, numa formação simplificada ideal, haveria mesmo tantos grãos de austenite quantos os núcleos formados originalmente, o que quase se consegue num aço esferoidizado um pouco grosseiramente. Na realidade, algumas ilhas de austenite crescem mais ràpidamente do que outras consoante as condições em que se processa a austenitização. Por exemplo, se um dado aço está longe da composição eutectóide e é aquecido abaixo de $Ac_3$ ou Acm (austenitização incompleta), permanecerão algumas ilhas de ferrite ou cementite por transformar, independentemente do período de aquecimento. Estes constituintes proeutectóides não dissolvidos bloqueiam o crescimento dos grãos, visto que esse conjunto inicial de grãos é mantido mesmo depois de aquecimentos de longa duração, dando lugar a grande diferenciação no tamanho dos grãos, logo no início, e favorecendo a obtenção dum aço de grãos desiguais em vez dum aço de grão uniforme.

Quanto à relação entre a estrutura primária da ferrite e perlite ou da cementite e perlite com o tamanho de grão austenítico, pode afirmar-se, dum modo geral (especialmente no caso dos aços hipoeutectóides), que quanto mais pequenos e numerosos forem os grãos de perlite, mais finos serão os grãos iniciais de austenite [4] visto que maior será o número de germes que aparecem na interface ferrite-perlite.

Tratando-se então dum processo de transformação de fases por germinação, o tamanho do grão inicial ficará dependente do número de germes que se possam formar e da velocidade de crescimento desses mesmos germes e, por conseguinte, dos factores que neles influem como:

— homogeneidade do aço;
— forma, dimensão, distribuição e composição de carbonetos;
— composição da ferrite;

— inclusões não metálicas microscópias e submicroscópicas;
— estado de tensão ou deformação.

É evidente que todos os factores que promovem o aumento do número de germes favorecerão a formação de elevado número de grãos e, consequentemente, o aparecimento de grãos finos.

O último factor é de grande interesse industrial visto que, na transformação de fases por aquecimento do material deformado a frio, o número de germes é proporcional ao grau de deformação. A fig. 2 mostra a dependência, num aço macio, entre o tamanho do grão, a percentagem de deformação e a temperatura máxima de aquecimento.

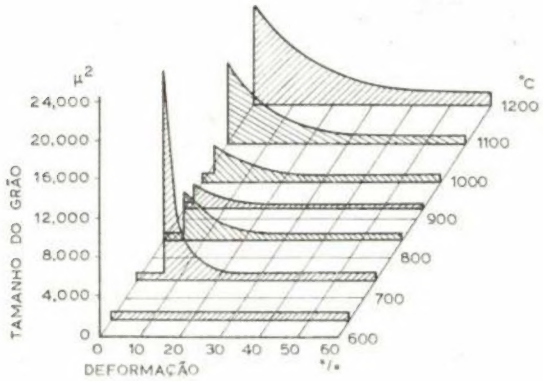



Fig. 2 — Tamanho do grão num aço macio em função do grau de deformação e da temperatura de aquecimento

O tamanho do grão obtido no final da formação da austenite foi denominado por Grossmann *tamanho inicial do grão de austenite.*

Com a subida de temperatura, ou com a sua manutenção, dá-se, depois, o *crescimento do grão de austenite,* o qual pode ser proporcional à temperatura, ou só se realizar acima de determinado valor desta — *temperatura crítica de coalescência* — se existirem impedimentos ao crescimento, como veremos.

Dado que a soma das dimensões dos grãos individuais é constante, o aumento da dimensão média do grão implica o desaparecimento de alguns dos grãos, geralmente os mais pequenos. Distinguiremos, de acordo com M. Hillert [5], dois modos do crescimento do grão: *crescimento de grão normal* ou *uniforme* e *crescimento de grão anormal* ou *não uniforme.* (1) No primeiro caso os grãos individuais são sensìvelmente do mesmo tamanho e o crescimento é progressivo; no segundo, as diferenças de dimensões entre os grãos aumentam, porque alguns grãos crescem mais ràpidamente do que outros. Todavia, mesmo neste caso, quando todos os grãos de menor dimensão forem consumidos, o tamanho de grão pode passar a ser relativamente uniforme. O segundo modo de crescimento é corrente quando há inicialmente irregularidades de frequência dos germes dos grãos cristalinos, provocadas, por exemplo, por diferenciação de graus de deformação na mesma peça: o grão crescerá consideràvelmente onde o grau de deformação for menor.

Experimentalmente verificou-se que, para os aços de grão grosso, o crescimento é uniforme e progressivo e o tamanho $d$ do grão é uma função da duração, $t$, em horas, segundo a equação

$$d = Kt^n \qquad (2)$$

na qual $K$ e $n$ são constantes que dependem da temperatura e da natureza do aço e que se escalonam entre $K = 0{,}10$ a $1$ e $n = 0{,}08$ a $0{,}2$, quando a temperatura passa de 925 a 1260 °C [6]. Nos aços de grão fino, com os dois modos de crescimento de grão, o estabelecimento duma lei torna-se muito mais complexo visto que estes aços podem apresentar um crescimento repentino a partir da temperatura crítica de coalescência. No entanto, a partir do ponto em que se inicia o crescimento do grão, os dois tipos de aço são muito semelhantes no mecanismo desse crescimento, o qual, teòricamente, se pode explicar como segue.

A força motriz que promove o crescimento do grão num agregado policristalino é essencialmente devida à diminuição da energia livre da superfície limite ou contorno do grão cristalino que tenderá para um mínimo à medida que a superfície total das interfaces dos grãos se tornar menor. Isto significa que, no limite, todos os grãos se deveriam fundir num único cristal, o que não acontece correntemente porque certas diferenças de orientação cristalográfica são demasiado consideráveis para serem vencidas. Este fenómeno é labora-

(1) Preferimos as designações *uniforme* e *não uniforme* em vez de *contínuo* e *descontínuo* visto que o crescimento do grão é, por natureza, um processo descontínuo.

torialmente aproveitado para conseguir obter monocristais por meio de técnicas especiais de deformação e recozimento.

Um factor que tem, portanto, muita influência no processo de crescimento do grão é a temperatura, a qual promoverá a energia de activação necessária para a passagem a um estado mais estável do agregado cristalino, ou seja, de menor energia livre. É, por isso, de grande interesse na prática, para orientação das temperaturas de realização dos tratamentos mecânicos e térmicos, o conhecimento da *aptidão do aço* a tornar-se, ou não, de *grão grosso*, quando levado a determinada temperatura.

A fig. 3 esquematiza o comportamento do crescimento do grão para um aço cuja temperatura de trabalho a quente é superior à de início de crescimento do grão — *aço de grão grosso* — e para um aço em que essa temperatura é inferior — *aço de grão fino*.

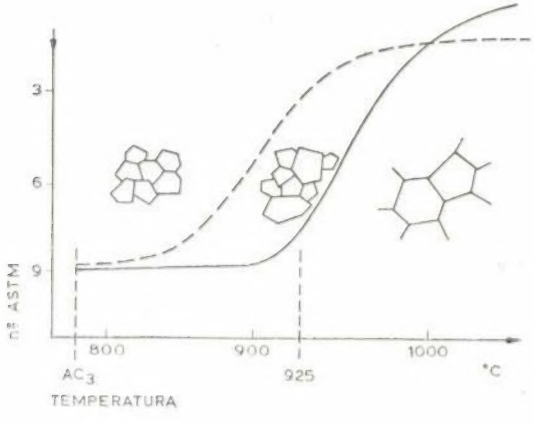



Fig. 3 — Crescimento do grão austenítico num aço de grão grosso (----) e num aço de grão fino (——)

É também importante a consideração do *arranjo dos átomos*, na superfície limite de dois grãos adjacentes, o qual, embora mal conhecido, é um compromisso entre os respectivos arranjos atómicos, dependente das orientações cristalográficas. Quando a temperatura se eleva, aumentando muito ràpidamente a mobilidade dos átomos, diminuem as diferenças de desorientação cristalográfica, de modo que os átomos no contorno dos dois grãos tendem a acomodar-se de acordo com a disposição cristalina de menor energia livre de superfície. A fronteira entre os grãos desloca-se e invade assim, progressivamente, o grão de maior energia livre, dando-se a *coalescência dos grãos*. Deste modo, os grãos de maior dimensão tendem a absorver os mais pequenos e a força motriz de crescimento do grão será tanto maior quanto maior for a diferença de dimensões entre os grãos que crescem e os restantes.

Se, contudo, os grãos puderem crescer simultâneamente, a força motriz torna-se insuficiente para um crescimento exagerado de alguns grãos apenas.

A fig. 4 representa, segundo Grossmann [4], um mecanismo de crescimento nestes dois casos. Se há possibilidade de apenas alguns grãos crescerem, em detrimento dos outros, o aço é de crescimento anormal e não uniforme, (b); se, pelo contrário, se desenvolvem diversos grãos simultâneamente, (c), o aço será de crescimento normal ou uniforme.

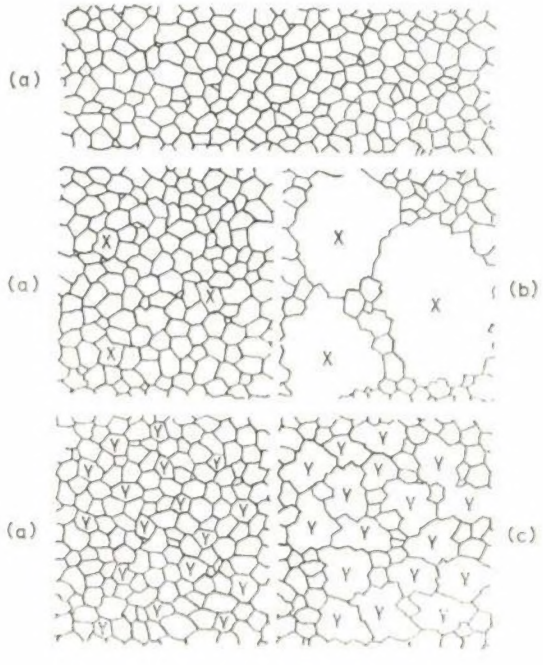



Fig. 4 — Mecanismo de crescimento de grãos — (b) não uniforme; (c) uniforme (seg. Grossmann)

A forma do grão cristalino é outra característica essencial no seu processo de crescimento, pois certas formas aumentar-lhe-ão a instabilidade. Importantes estudos sobre o assunto foram realizados por Harker e Parker [7] e por C. Smith [8] de modo a estabelecerem as condições de equilíbrio quer no caso duma única fase quer quando exista mais de uma fase.

Se considerarmos três contornos de grão fig. 5 (a) separando três grãos duma mesma fase, mas de orientações cristalográficas diferentes, e em que os respectivos ângulos diedros sejam $\theta_1$, $\theta_2$ e $\theta_3$,

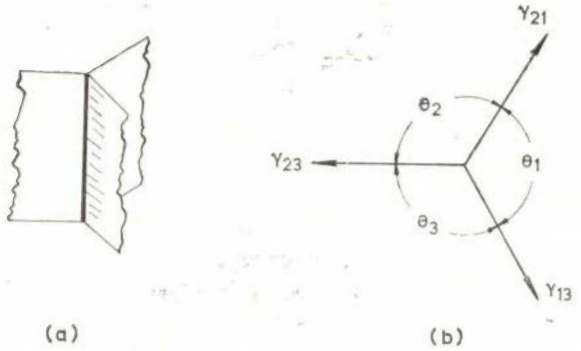



Fig. 5 — (*a*) Linha tríplice formada pelo encontro de três contornos de grão
(*b*) Equilíbrio de tensões superficiais em torno dum ponto da linha tríplice

dar-se-á o equilíbrio quando

$$\frac{\gamma_{12}}{\text{sen } \theta_3} = \frac{\gamma_{13}}{\text{sen } \theta_2} = \frac{\gamma_{23}}{\text{sen } \theta_1} \qquad (3)$$

em que $\gamma_{12}$, $\gamma_{13}$ e $\gamma_{23}$ são as tensões superficiais dos contornos dos grãos actuando em todas as direcções do plano e exercendo uma força sobre as arestas do grão, fig. 5 (b).

Esta tensão superficial, que se pode considerar a energia livre da superfície por unidade de área, é devida a que os átomos da superfície limite do grão têm maior energia livre que os átomos no interior do grão.

Um agregado policristalino estará então em equilíbrio quando a tensão superficial se exercer igualmente nos pontos quádruplos (pontos de encontro de quatro grãos, quatro arestas e seis faces), como mostrou C. Smith, estabelecendo-se um balanço entre as tensões sobre as quatro linhas tríplices. Esta condição será satisfeita quando o poliedro representativo do grão cristalino, em geral independente do sistema cristalino, apresentar um ângulo diedro entre os planos do contorno de grão na linha tríplice, ou seja, entre faces, de 120°, e entre as quatro arestas do ponto quádruplo, ângulos de 109° 29′ 16″. A área mínima implica ainda que os contornos sejam planos.

O cálculo do número de faces e do número de lados dum tal poliedro conduziu ao poliedro fictício de 13,5 faces e 5,14 lados para satisfação das condições topológicas de equilíbrio das tensões e do mínimo de energia interfacial. Na realidade os poliedros que mais se aproximam desta solução ideal são o octaedro truncado ou tetracaidecaedro e o dodecaedro pentagonal. Este último, no entanto, apesar de ter um ângulo entre as arestas, de 108°, não permite um arranjo compacto. O tetracaidecaedro, fig. 6, com 14 faces das quais 6 são quadrados e 8 são hexágonos, tem como ângulos entre as arestas 90° e 120° e, para que as condições de equilíbrio se estabeleçam, torna-se então necessário um ligeiro encurvamento das faces hexagonais, o que na realidade parece verificar-se. Este poliedro, conhecido como tetracaidecaedro de Lord Kelvin, fica assim com 36 arestas de igual comprimento, mas todas curvas, e 24 vértices em cada um dos quais se encontram 3 arestas.

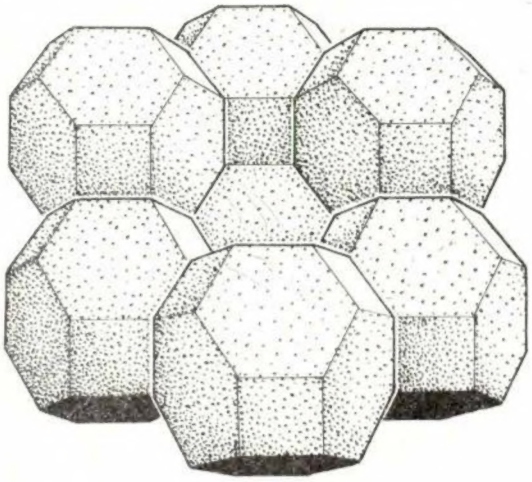


Fig. 6 - Conjunto de tetracaidecaedros num agregado policristalino idealizado

Como consequência, no caso de equilíbrio, $\theta = 120°$, a estrutura estável dum agregado cristalino a duas dimensões deverá corresponder à chamada estrutura «favo de mel», fig. 7 (a), ou seja, um reticulado hexagonal de lados rectilíneos, muito frequente aliás na Natureza, em que qualquer imperfeição introduzida dará lugar a uma instabilidade. Assim, sempre que o número de lados seja superior ou inferior a 6 ou se dê um demasiado encurvamento dos lados, existe uma instabilidade que provocará o crescimento do grão.

(a) (b)

Fig. 7 — Configuração do reticulado das juntas do grão a) estável, b) instável

Aos lados do polígono representativos da secção das superfícies limites ou contornos de grão por um plano chamaremos *juntas de grão*.

Quanto ao encurvamento do contorno do grão, ele dá ocasião a que a tensão superficial provoque uma pressão $p$, actuando normalmente à superfície, e proporcional, segundo Zener [8], à curvatura média em cada ponto da superfície. Esta pressão será, portanto, tanto menor quanto menor for a curvatura da superfície limite do grão ou, no plano, a curvatura da junta do grão.

É assim evidente que, na medida em que os contornos de grão forem livres de se mover e mudar de forma, eles agirão até que um balanço mecânico se estabeleça entre as forças tendentes a manter uma distribuição equiangular nas linhas tríplices e nos pontos quádruplos e as forças tendentes a rectificar os contornos dos grãos e as arestas; qualquer perturbação no reticulado do contorno de grão será transmitida através do mesmo até que seja estabelecido esse balanço de forças. A este equilíbrio, que exige uma certa energia de activação dependente da temperatura, corresponderá então um determinado tamanho de grão.

Isto explica por que razão, numa estrutura de fase única e homogénea, o tamanho de grão é uma função monotónica da temperatura máxima de aquecimento.

Efectivamente, após recozimentos prolongados, verifica-se muitas vezes o aparecimento de juntas de grão rectilíneas, uma diminuição ou mesmo desaparecimento dos grãos pequenos, e um aumento dos maiores, formando-se grãos *equiaxiais*.

É, portanto, evidente que tudo o que se oponha à migração dos átomos nas superfícies de contorno e ao movimento destas superfícies impedirá o crescimento do grão, isto é, será uma *barreira de crescimento*.

Estão neste caso os elementos em solução sólida na austenite e a presença de partículas duma segunda fase.

Os primeiros agem sobre as velocidades de difusão dos átomos e sobre a velocidade de crescimento linear dos grãos. Assim, o alumínio, o boro e o níquel retardam o crescimento do grão, enquanto o silício e o fósforo aceleram o seu crescimento.

As segundas, ou seja, a presença de constituintes dispersos como os carbonetos, nitretos ou inclusões muito finas (produzidas pela desoxigenação do aço) dificilmente solúveis ou mesmo insolúveis, constituem um considerável obstáculo ao movimento das fronteiras cristalinas, não só por se oporem à difusão mas também porque, concentrando-se nas juntas do grão — zonas de alta energia — lhes diminuem a energia. Torna-se, por isso, necessário despender uma certa energia de activação para deslocar das juntas de grão estas partículas. É evidente que esta obstrução diminui ou desaparece se há coalescência dessas partículas ou dissolução das mesmas na matriz, como no caso de carbonetos, nitretos ou carbonitretos, cuja dissolução se processa a elevadas temperaturas. Por exemplo, para os nitretos de alumínio, titânio e zircónio, a temperatura de dissolução na austenite é cerca de 1250 °C.

Uma importante aplicação prática destes fenómenos é a obtenção de aços de grão grosso e de grão fino por meio da operação de desoxigenação final na fabricação do aço. No primeiro tipo, esta operação é realizada com silício: as inclusões de sílica formadas devem dissolver-se em parte ou, possìvelmente, principiam a coalescer para dimensões não muito grandes, a cerca de 840 °C—870 °C, permitindo que o crescimento do grão se inicie a temperaturas baixas.

Nos aços de grão fino, o controle de crescimento de grão austenítico é efectuado com alumínio, devendo o teor residual neste elemento ser cerca de 0,03 %. Teores em alumínio residual superiores a este valor parecem provocar um crescimento irregular e exagerado do grão, o que levou a concluir que as partículas do composto $Al_2O_3$, quando finas, são bem repartidas, mas que, quando são mais grossas, têm uma distribuição menos regular. A interpretação da acção do alumínio tem motivado inúmeros estudos, e entre as explicações mais plausíveis, consoante se considera a forma sob a qual se

encontra este elemento — alumínio no estado metálico em solução sólida na austenite; sob a forma de partículas extremamente divididas de alumina; de silicato de alumínio ou de nitreto de alumínio — a influência do nitreto de alumínio tem hoje uma maior probabilidade de aceitação. Todavia, a diversidade de opiniões demonstra que, muito provàvelmente, cada uma daquelas hipóteses terá a sua quota-parte no resultado final.

Além do alumínio são também utilizados com o mesmo objectivo outros elementos como o vanádio e o nióbio, formando o primeiro também um nitreto e o segundo um carbonitreto.

O crescimento de grão pode também ser influenciado pela geometria da peça em tratamento térmico. É o caso das chapas cuja fraca espessura limita o crescimento do grão logo que o tamanho deste se torna comparável à espessura.

## 3 — INFLUÊNCIA DO GRÃO AUSTENÍTICO

A influência do tamanho de grão austenítico na microestrutura dos produtos de transformação da austenite reflecte-se no tamanho do grão do novo constituinte — o qual, dum modo geral, será tanto mais pequeno quanto menor for o tamanho do grão austenítico — e na velocidade de transformação desses constituintes.

A primeira influência tem uma acção directa nas características mecânicas do material, como veremos; o conhecimento da segunda foi das aquisições que mais contribuíram para a compreensão do comportamento dos aços nos tratamentos térmicos, muito particularmente na têmpera.

### 3.1 — Efeito sobre os tratamentos térmicos

Como mostra a fig. 8, para um mesmo tempo de transformação e considerando uma velocidade de nucleação e crescimento de grão igual durante a formação do novo constituinte, o grão de menor tamanho atinge mais ràpidamente o final da transformação. Por outro lado, uma maior área total de contornos de grãos nos aços de grão fino, facilitando o aparecimento de elevado número de germes, provocará também nestes aços uma mais rápida transformação da austenite no domínio perlítico.

As curvas dos diagramas de transformação dum dado aço e com a mesma composição de austenite serão, portanto, desviadas para a direita no caso do aço de grão mais grosso, o que dará lugar a uma melhor profundidade de têmpera ou temperabilidade para este tipo de aços.

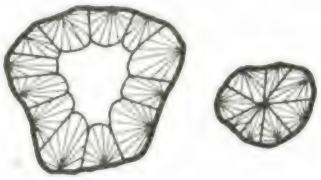


Fig. 8 — Efeito do tamanho do grão sobre o tempo de transformação total (seg. Mehl)

Também a temperatura de início de transformação martensítica, $M_s$, é mais baixa para o aço de grão fino.

Efectivamente, a profundidade de têmpera dum aço-carbono pode aumentar de 50 % com a variação do tamanho do grão austenítico do N.º ASTM cerca de 8 (6 a 10) a cerca de 3 (1 a 4), efeito que se torna mais pronunciado com o aumento do teor em carbono [2]. Parece, então, aconselhável a utilização de grão grosso, sobretudo na têmpera de peças de espessuras variáveis, mas o maior risco de aparecimento de fissuras de têmpera e a diminuição da tenacidade destes aços levam a estabelecer uma solução de compromisso sempre que se pretenda a sua utilização em vez de um aço ligado de grão fino, mais oneroso.

O quadro 3-1 apresentado no «Metals Handbook» da ASM compara a influência do tamanho

QUADRO 3-1

*Efeitos do tamanho de grão austenítico*

| Propriedade | Grão fino $N > 5$ | Grão grosso $N < 5$ | Tratamento térmico |
|---|---|---|---|
| Temperabilidade | pouca | muita | Têmpera martensítica |
| Tenacidade para a mesma dureza | mais | menos | |
| Deformação na têmpera | menor | maior | |
| Fissuras na têmp. | geralm. ausentes | mais frequent. | |
| Fissuras de rectificação | menos susceptí. | mais susceptí. | |
| Tensões residuais | menores | maiores | |
| Austenite residual | menos | mais | |
| Maquinabilidade | inferior | melhor | Recozimento e normalização |
| Acabamento da superfície | melhor | inferior | |
| Enformação | inferior | melhor | |

de grão sobre as propriedades dum dado aço consoante o tratamento térmico sofrido.

### 3.2 — Sobre as características mecânicas

Quanto às características mecânicas pròpriamente ditas, está já hoje bem comprovada a sua dependência do tamanho do grão. Todavia, a complexidade do estudo da acção específica dos contornos dos grãos por si próprios, das orientações cristalográficas, da segregação de impurezas nas juntas, da presença de outras fases e a diversidade de factores que influem nas determinações experimentais, como dimensões dos provetes, temperatura, velocidade de carga, velocidade de deformação, etc., provocam ainda hoje uma certa insegurança no conhecimento do modo de variação de algumas dessas propriedades em função do tamanho de grão.

Procuremos, no entanto, referir, sobretudo no que diz respeito a resultados experimentais, as conclusões mais importantes sobre o assunto para as principais características mecânicas.

*Limite de elasticidade* — Define-se hoje limite de elasticidade como a tensão necessária para dar início ao movimento dos deslocamentos. Os estudos de Petch [11] sobre ferro puro e aço extramacio conduziram à confirmação experimental da equação

$$\sigma_E = \sigma_O + K_L \cdot d^{1/2} \qquad (4)$$

em que $\sigma_E$ é a tensão limite de elasticidade (medida pela tensão de cedência inferior), $\sigma_O$ a tensão de fricção, $d$ o diâmetro médio do grão e $K_L$ parâmetro que pode ser dependente da temperatura, e é função da tensão necessária para propagar a deformação através das juntas de grão. O primeiro termo, independente de $d$, representa a tensão necessária para movimentar os deslocamentos não bloqueados nos planos de escorregamento dos cristais e é dependente da temperatura; o seu valor, que é dado pela ordenada na origem (fig. 6), parece aumentar com a concentração dos elementos intersticiais, carbono e azoto. O segundo termo, mais efectivo para as dimensões de grão menores, reporta-se aos deslocamentos bloqueados. O modelo usado para a interpretação desta expressão, chamado de Cottrell-Petch, considera os deslocamentos provenientes de origens quer dentro do grão quer de empilhamentos

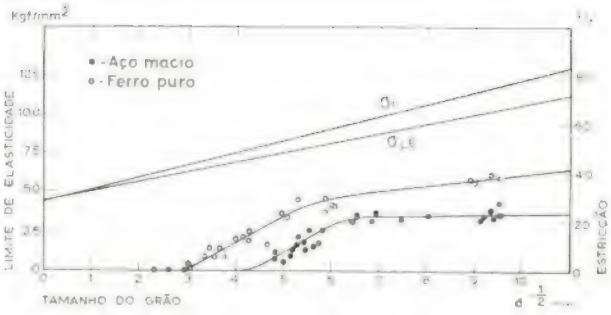



Fig. 9 — Variação da tensão de cedência inferior com o tamanho de grão, no ferro (seg. Codd e Petch)

nos limites do grão. No primeiro caso, como é evidente, o livre percurso médio dos deslocamentos postos em movimento diminui com o número de grãos, constituindo as numerosas juntas de grão barreiras ao seu movimento; no segundo caso, torna-se mais provável uma maior densidade de deslocamentos num aço de grão fino que num aço de grão grosso. A fig. 10 ilustra bem a formação dum empilhamento quando os deslocamentos provenientes duma mesma origem encontram uma barreira: juntas de grão ou partículas precipitadas.

Quanto à constante $K_L$, os diversos resultados [12] obtidos com aços extramacios e macios forneceram, à temperatura ambiente, sensìvelmente o mesmo valor

$$K_L = 2{,}7 \pm 0{,}3 \text{ kgf/mm}^{-3/2}$$

o que dá, para vários tamanhos de grão, os seguintes valores para o limite de elasticidade, $\sigma_E$

| N.º de grãos/mm² | Valor de $\sigma_E$ kgf/mm² |
|---|---|
| 10 | $\sigma_0 + 5$ |
| 100 | $\sigma_0 + 8$ |
| 1000 | $\sigma_0 + 15$ |
| 10 000 | $\sigma_0 + 27$ |

Todavia para os aços ligados têm sido encontrados experimentalmente valores muito diferentes para $K_L$; por ex., aços martensíticos de muito baixo teor em carbono e altos teores em Cr e Ni e aços martensíticos só com Ni deram valores iguais a 1,4 kgf.m$^{-3/2}$ e a cerca de metade deste valor, respectivamente [13].

*a*)

*b*)

Fig. 10 — *a*) Esquema dum empilhamento de deslocamentos junto dum obstáculo; *b*) Fotomicrografia electrónica revelando o fenómeno (45 000 x) (seg. Swann)

De qualquer modo estes valores traduzem uma «resistência» nas juntas, que determina o limite de elasticidade e torna compreensível que o início de deformação plástica do ferro seja tanto mais difícil quanto maior for o número de cristais que rodeie um grão, ou seja, quanto mais fino for este. Essa resistência das juntas, ou seja, a resistência intergranular, parece interferir também dum modo importante no aparecimento dum patamar e na taxa de consolidação apresentada pela curva racional da tracção. Estudos de Ch. Crussard e B. Jaoul [4] levaram à determinação experimental da variação dos coeficientes da expressão de Ludwig ($\sigma = \sigma_0 + A\Sigma^m$) com o tamanho de grão e levaram a concluir que uma parte importante do aumento de dureza que se manifestava durante o ensaio de tracção, sobretudo logo a seguir ao domínio elástico, era de origem intergranular e, portanto, dependente do tamanho do grão.

As curvas de tracção de provetes de ferro Armco descarbonizado (fig. 11) para diversos tamanhos de grão revelam como a amplitude do patamar decresce quando o diâmetro médio dos grãos aumenta. Também a diferença entre a tensão de cedência superior e a inferior se vai tornando menor com o aumento do tamanho de grão e pode mesmo anular-se.

Embora geralmente se aceite a equação de Hall-Petch, outras expressões menos simples têm sido propostas, como a de I. Gokyu e J. Kihara (1967) [15] que inclui um terceiro termo que entra em consideração com a influência da temperatura, da taxa de deformação e do número de frentes de bandas de Lüders.

Ainda no caso de aços ligados, nem sempre se verifica aquela relação, havendo mesmo aumento do limite de elasticidade com o aumento do tamanho de grão na gama dos grãos finos, o que se pode atribuir à existência duma microestrutura

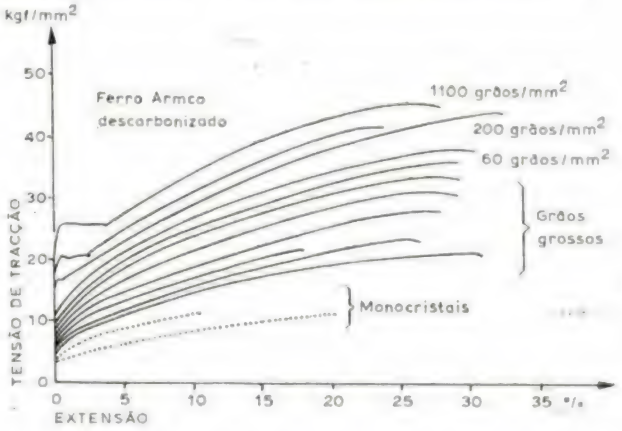



Fig. 11 — Variação do limite de elasticidade e da forma da curva de tracção em função do número de grãos (seg. B. Jaoul)

favorável à formação de mecanismos de resistência que se sobreponham ao efeito das dimensões do grão [13] [16].

*Tensão de rotura* — Quanto à variação desta característica com o tamanho de grão apresentaremos três opiniões cuja diversidade revela quanto há ainda a estudar para o esclarecimento do assunto. B. Jaoul considera que o tamanho de grão faz apenas variar a posição da curva paralelamente a si mesma, pelo que se poderá aplicar, por generalização, a relação de Petch de modo que, seja qual for a deformação considerada, a tensão correspondente varia em função de $d^{-1/2}$.

Por sua vez, J. R. Low [17] considera separadamente o caso da fractura intergranular e transgranular. No primeiro caso a tensão de rotura parece seguir a lei linear de Petch, enquanto no segundo esta proporcionalidade seria apenas verificada acima de determinados valores do diâmetro do grão ($d^{-1/2} > 2{,}5$). Ainda para a fractura transgranular, a expressão de Griffith-Orowan

$$\sigma_r = \left(\frac{2Ep}{\pi c}\right)^{1/2}, \qquad (5)$$

relativa à tensão crítica $\sigma_r$ que conduz à rotura total, faz intervir por meio do valor $c$, dimensão das microfissuras, o valor do tamanho do grão. ($E$-módulo de Young e $p$-energia de propagação da fissura).

Por outro lado, ensaios recentes realizados sobre aços-carbono [18] e aços ligados [19] ou consideram sem interesse prático a influência do grão sobre a tensão de rotura ou concluem que só é apreciável quando ele é extremamente fino (N.º ASTM $\geqslant$ 9).

*Dureza* — Resultados experimentais mostram que o valor da dureza cresce com a diminuição do tamanho de grão. Todavia, de acordo com Gensamer [22], tal como a determinação da dureza é conduzida correntemente, esta ilação não deve ser considerada válida, visto que à medida que o tamanho de grão aumenta menor é o número de grãos interessados na indentação, diminuindo portanto a resistência à deformação.

*Ductilidade* — Sobre esta propriedade, avaliada no ensaio de tracção através da estricção e do alongamento, não há ideias assentes e muito pouco se tem escrito sobre o assunto dada a dificuldade em distinguir o efeito devido aos limites de grão pròpriamente ditos do efeito das impurezas segregadas nas juntas de grão às quais a ductilidade parece ser muito sensível. No entanto considera-se em geral que há abaixamento das características mecânicas da ductilidade quando o aço é tratado acima da temperatura crítica de crescimento do grão. Como se nota da fig. 9 a ductilidade aumenta para se tornar constante para os grãos mais finos.

*Tenacidade* — Esta é a característica mecânica que diferencia notàvelmente os aços de grão grosso dos aços de grão fino, sendo muito superior para estes últimos. Os dados experimentais revelam que, à medida que o tamanho de grão aumenta, a temperatura de transição sobe, tornando-se portanto maior a tendência para uma fractura frágil em vez de dúctil. Este facto explica a preferência dada aos aços de grão fino na construção mecânica. A fragilidade manifestada pelos grãos de maior tamanho pode ser explicada por uma maior concentração de impurezas nos seus contornos, devida à diminuição da superfície total em relação aos aços de grão fino, e que favorece uma fractura frágil, na maior parte dos casos intercristalina. Por outro lado, visto que quanto maior é o cristal menor é o apoio que lhe prestam os cristais vizinhos, maior é o perigo duma clivagem sob tensão de tracção, a qual, uma vez iniciada num cristal, se propaga a toda a peça causando a rotura total.

*Fluência* — A relação entre o tamanho de grão e as propriedades da fluência das ligas tem sido objecto de estudos extremamente numerosos e muitas vezes contraditórios.

Dum modo geral pode afirmar-se que nos fenómenos de fluência as propriedades dos grãos e as das juntas intervêm em condições diferentes. Para temperaturas baixas (abaixo da temperatura de equicoesão) ou durações de ensaio muito curtas, a resistência dos grãos à deformação é mais fraca do que a das juntas. O metal deforma-se por escorregamento na massa dos grãos e a fractura será transgular. Para temperaturas elevadas (acima da temperatura de equicoesão) ou durações de ensaio prolongadas, a resistência das juntas à deformação é mais fraca que a do grão: só as juntas se deformam e a rotura será intergranular.

No primeiro caso, em que a fluência está ligada à deformação dos grãos, um metal de grãos finos, em que o volume relativo dos grãos é mais fraco,

terá uma melhor resistência, visto que juntas numerosas prejudicam o escorregamento no interior dos grãos. No segundo caso, em que a fluência não faz intervir senão a deformação das juntas, o metal deformar-se-á tanto mais lentamente quanto mais fraco for o volume relativo das juntas.

Pode portanto deduzir-se que um metal de grão grosso é mais resistente às altas temperaturas, ou para durações de utilização prolongadas, e que o de grão fino terá uma melhor resistência às baixas temperaturas. Isto equivale a dizer que a resistência das estruturas de grão grosso decresce menos ràpidamente com a temperatura e a duração de ensaio do que a das estruturas de grãos finos.

## 4 — AVALIAÇÃO DO TAMANHO DE GRÃO AUSTENÍTICO

O exame e a medida directa das dimensões dos cristais dum agregado policristalino é, em geral, impraticável devido à sua opacidade ao espectro visível ou à dificuldade de separar os cristais para permitir a sua observação individual.

C. H. Desch [20] conseguiu separar os cristais dum latão $\beta$ atacando-o com mercúrio, e E. Scheil e H. Wurst [24] reconstituíram a forma dos cristais numa amostra de ferro Armco por observação duma série de cortes planos e suficientemente próximos uns dos outros e em que o diâmetro médio dos cristais era da ordem de 100 $\mu$m.

Estes processos chamados *individuais*, além de morosos e fastidiosos, tornam-se impraticáveis quando o diâmetro médio do cristal é demasiado pequeno.

Por isso, os processos correntes de medida do grão são processos *integrais*, por observação de secções metalográficas convenientemente polidas e atacadas que revelam as juntas dos grãos cristalinos resultantes da intersecção do plano da secção metalográfica com o *agregado policristalino*, permitindo a determinação dum valor médio do grão. É evidente que, com estes processos, a informação sobre a forma e tamanho de cada grão é deficiente, visto que se desconhece a posição do cristal em relação ao plano de corte. É todavia possível, estatìsticamente, a partir dos resultados de metalografia plana quantitativa, e considerando certas hipóteses sobre a forma de cristais, determinar o espectro de frequência espacial dos diâmetros dos cristais, dado que a frequência com que as dimensões de grão se encontram no plano está directamente relacionada com as suas dimensões espaciais, ou seja, com o tamanho real do grão.

No caso da determinação do tamanho do grão austenítico, o ideal seria a observação directa, mas a temperatura elevada a que seria necessário examinar o provete torna esta técnica de muito rara utilização.

Deste modo, o grão austenítico só pode ser apreciado pondo em evidência as dependências de hereditariedade que, em condições definidas de tratamento térmico, existem entre a distribuição dos constituintes da estrutura a frio e os grãos de austenite que lhe deram origem.

Felizmente, o mecanismo de transformação da austenite e a forma como se desenvolvem os novos constituintes tornou possível estabelecer métodos que permitem essa determinação por exame metalográfico. Torna-se, portanto, necessário realizar duas etapas no estudo da avaliação do grão austenítico: primeiro, o uso dum método que ponha em evidência o grão austenítico primário e, depois, aplicação dum processo para determinação da sua medida.

Os métodos para pôr em evidência o grão austenítico podem dividir-se fundamentalmente em dois grupos:

1.º — Por diferenciação de microestruturas nas juntas de grão.

2.º — Por registo directo dos contornos do grão à temperatura de austenitização.

Os métodos do *primeiro grupo* baseiam-se essencialmente nos seguintes fenómenos:

— quando os novos constituintes se obtêm por germinação e crescimento, a transformação austenítica tem o seu início nos contornos dos grãos;

— no caso dos constituintes formados por corte coerente, como a martensite, os grãos de austenite governam a orientação das agulhas de martensite, variável de grão para grão;

— em certos casos o tamanho do grão austenítico e o tamanho dos grãos de fractura observam entre si uma relação estreita;

— no arrefecimento, o tamanho de grão austenítico subsiste nos produtos de transformação sem mudança apreciável qualquer que seja a velocidade de arrefecimento utilizada.

Assim, no caso dos aços hipereutectóides, o arrefecimento deverá ser conduzido de tal modo que a cementite proeutectóide fique como uma rede fina nos bordos dos grãos e envolvendo as áreas escuras de perlite.

Para os aços hipoeutectóides, efectuando um arrefecimento controlado, provoca-se a formação duma rede de ferrite proeutectóide delimitando os grãos de perlite ou impede-se a formação da perlite. Este tratamento equivale a um tratamento isotérmico durante um certo tempo para obter a rede de ferrite, seguido de têmpera.

No caso dos aços eutectóides, a têmpera martensítica ou igualmente um arrefecimento que inicie a formação duma perlite muito fina, seguido de têmpera, põe em relevo as juntas do grão austenítico de origem.

O ataque com nital para as estruturas formadas por ferrite ou cementite e perlite ou com o reagente de Vilella (solução alcoólica de ácido pícrico e ácido clorídrico) para as estruturas martensíticas põe finalmente em evidência as juntas dos grãos.

Estes processos que são preconizados por Grossmann [5] vêem as suas aplicações limitadas pela necessidade dum conhecimento das condições de arrefecimento de modo a obter a delimitação correcta dos primitivos grãos de austenite, o que se torna bastante confuso quando os aços são de grão fino e de baixo teor em carbono. A utilização destes métodos reduz-se, por isso, aos aços-carbono de teores em carbono superiores a 0,35 %. No entanto a introdução de algumas modificações, ou durante a austenitização ou no processo de ataque, procuram a sua generalização.

Assim, no caso da obtenção da têmpera martensítica, um ataque selectivo a frio pelo reagente de Mme Béchet e L. Beaujard [22] (solução aquosa saturada de ácido pícrico adicionada de 0,5 % dum agente molhante) dá resultados bastante bons para aços semiduros. Este reagente tem a particularidade de atacar as juntas de grãos primitivos da austenite.

Relativamente às modificações introduzidas durante a austenitização, Mac Quaid e Ehn afinaram, em 1922, um método baseado na facilidade de formação duma rede cementite proeutectóide nos aços hipereutectóides. Para tal procede-se então a uma cementação do aço em estudo a temperatura determinada (925 °C) durante 8 h com um cemento enérgico. Desenvolve-se então na parte exterior do provete uma camada hipereutectóide que, por arrefecimento lento, dá uma rede de cementite na matriz perlítica, a qual desenha o grão de austenite a 925 °C.

Este método, que é aliás o mais utilizado nos laboratórios industriais, apenas nos pode dar a indicação do tamanho do grão a esta temperatura. Tem como inconvenientes principais a modificação da composição química e a longa manutenção da temperatura de austenitização, factores que podem provocar alterações no tamanho do grão. É, no entanto, vantajoso no controle dos aços para cementação visto que indica se a temperatura crítica de coalescência é superior ou inferior a 925 °C consoante o aço apresentar, ou não, um grão grosso.

O método de fractura, baseado na relação entre o aspecto da fractura após têmpera enérgica e o tamanho do grão inicial de austenite, é um processo essencialmente qualitativo em que a classificação do tamanho do grão é feita por comparação com escalas-tipo estabelecidas por Shepherd (USA) e por Jernkontoret, aliás pràticamente idênticas. Serve para uma avaliação rápida se a fractura for uniforme e intergranular.

Dos métodos do *segundo grupo*, em que se registam os contornos do grão austenítico à temperatura da sua formação de modo a poderem ser observados à temperatura ambiente, destacamos o *método de oxidação* preferencial das juntas. Consiste este método em oxidar o provete de aço no ar ou numa atmosfera oxidante à temperatura de austenitização escolhida e durante o tempo desejado. A oxidação dá-se mais intensamente ao longo das juntas de grãos de austenite cujos contornos ficam assim mais ou menos bem marcados, pelo depósito dos óxidos. Depois do arrefecimento, por meio de leve repolimento, elimina-se a película de óxido formada e provoca-se ligeiro ataque químico para acentuar o contraste antes da observação ao microscópio.

Tendo sido empregado pela primeira vez por Harasymenko [23], sofreu posteriormente modificações na sua execução, visto que o aquecimento em atmosfera de oxigénio parecia retardar o crescimento do grão na superfície em relação ao centro. Assim, a realização da oxidação sobre uma superfície prèviamente polida foi preconizada por P. Grusdov e I. Fedorchenko.

A. Kohn [24] prefere o aquecimento durante a austenitização em atmosfera inerte (argon, azoto)

e procede à oxidação das juntas no final com uma corrente de ar comprimido, durante alguns segundos apenas.

Y. Imai e H. Hirotani realizam a austenitização sob vácuo elevado e a oxidação é feita por ar durante 3 a 5 segundos ; depois, o provete é, antes da têmpera, mergulhado em bórax fundido para mais fácil eliminação da camada de óxidos a fim de evitar a operação delicada do repolimento antes da observação. Se a oxidação for muito ligeira, a identificação dos grãos pode ser feita aproveitando a diferença de coloração segundo a orientação dos mesmos.

Todavia, o processo de oxidação com as modificações introduzidas por A. Kohn é de todos o mais seguido e tem uma utilização bastante generalizada (fig. 12).

talização dum metal isento de transformações durante o arrefecimento.

A existência de tão grande número de métodos para pôr em evidência o verdadeiro grão austenítico revela as dificuldades de que se reveste esta determinação.

No quadro II apresentamos uma sistematização dos métodos mais geralmente utilizados consoante o seu fundamento, condições de observação e campo de aplicação mais favorável. É, pois, evidente que a escolha de um dado método deve ser essencialmente orientada pelo objectivo em vista e pela natureza do aço em estudo.

Uma vez posto em evidência o grão austenítico, surge o problema da avaliação das suas dimensões. Para isso torna-se necessário recorrer a certas hipóteses: considerar, quanto à forma,

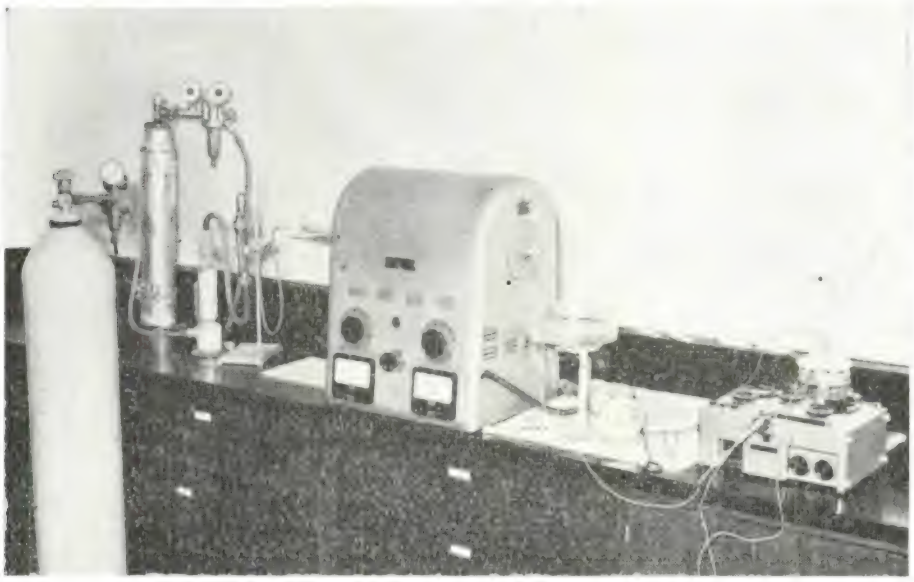


Fig. 12 — Montagem para a determinação do tamanho de grão pelo método de Kohn

Outros ataques preferenciais das juntas do grão austenítico podem ser provocados: por cloro ou ácido clorídrico gasoso em atmosfera inerte; por aquecimento em atmosfera de hidrogénio purificado; por dissolução anódica em sais fundidos — método electrolítico — à temperatura de 900 °C; por vidros fundidos a alta temperatura.

Além destes métodos referidos para os dois grupos considerados, outros ainda existem como a detecção auto-radiografia utilizando os radioisótopos Fe 55 e Fe 59; de evaporação sob vácuo; de difusão intergranular de bronze e por sincris-

que o octaedro-truncado ou tetracaidecaedro corresponde, com uma aproximação razoável, às formas reais dos cristais e admitir que estes são sensìvelmente de idênticas dimensões num dado agregado cristalino.

Com base nessas hipóteses, há dois processos básicos para exprimir o tamanho do grão: um, pelo número de grãos por unidade de volume ou pelo seu inverso, o volume por grão; o outro, em função duma área ou dimensão linear.

Como a observação é correntemente feita em secções planas ao microscópio óptico, é quase

QUADRO II

*Comparação entre os vários métodos de evidenciação de grão austenítico*

| | Método | Fundamento da observação | Reagente | Campo de aplicação aconselhável | |
|---|---|---|---|---|---|
| Por diferenciação na microestrutura | Por recozimento arrefecimento controlado | Rede de ferrite<br>Rede de cementite | Nital 2 %<br>Nital ou picral | Aços hipoeutectóides de C > 0,35 %<br>Aços hipereutectóides | |
| | Têmpera martensítica parcial (abaixo de $A_1$) (Grossmann) | Rede de perlite fina<br>Rede de ferrite | Vilella | Aços eutectóides<br>Aços hipoeutectóides C > 0,2 | |
| | Têmpera martensítica total (acima de $A_3$) | Grãos martensíticos | Vilella | Aços temperados ou temperados e revenidos | C < 0,35 e grãos grossos |
| | | Juntas dos grãos primários s/revelação da martensite | Béchet e Beaujard | | 0,2 % < C < 0,6 % |
| | Cementação (Mac Quaid e Ehn) | Rede de cementite | Picral ou picrato de sódio | Aços de cementação | |
| | Fractura | Juntas dos grãos | — | Aços extraduros<br>HRC > 55 — fractura intergranular | |
| Registo do grão austenítico a alta temperatura | Oxidação a quente (Kohn) | Rede de óxidos | Vilella (se necessário) | Geral | |
| | Dissolução anódica em banhos de sais | Juntas dos grãos corroídas | — | Estudos sobre o grão austenítico aços macios e aços duros | |
| | Sincristalização | Rede de metal depositado | — | Geral | |

universal a preferência pela designação do tamanho do grão em função da área, indicando:

— o número de grãos seccionados por $mm^2$ da secção do provete ou o seu inverso;
— o número de grãos por unidade de área da imagem a dada ampliação;
— o «diâmetro médio» calculado em função do número de grãos/$mm^2$.

O segundo modo é o mais generalizado e permite a classificação do grão por meio dum número simples $N$ obtido a partir da expressão:

$$n = 2^{N=1}$$

onde $n$ é o número de grãos por polegada quadrada duma imagem com uma ampliação de 100×.

Obtém-se assim uma escala conhecida como números ASTM de tamanho de grão, em que o aumento duma unidade corresponde aproximadamente a triplicar o número de grãos por milímetro cúbico. Este número é ainda relacionável com o número de grãos por milímetro quadrado e com o diâmetro médio. A especificação ASTM E — 112 — 63 apresenta uma tabela de que constam as equivalências entre todas estas grandezas [3].

A medição do grão é, então, realizada por processos integrais sobre registos fotográficos, por comparação com imagens padrão ou por contagem dos grãos intersectados por um dado segmento de recta — método de Heyne — ou limitados por um círculo de dado diâmetro — método de Jeffries — cujas regras são descritas também na referida especificação.

## REFERÊNCIAS


(1) — P. Bastien — Étude sur le grain austénitique de l'acier et son aptitude au grossissement. *Revue de Métallurgie*, Paris XXXVI, n.º 1, 1939, p. 1-10.

(2) — *Metals Handbook*, Ohio, ASM, vol. 1, 1961, p. 19.

(3) — Estimating the average grain size of metals *E 112 63 ASTM*, parte 31 Philadelphia 1969.

(4) — M. A. Grossman a E. C. Bain — *Principles of heat treatment*. Ohio ASM, 1964.

(5) — M. Hillert — On the theory of normal and abnormal grain growth. *Acta Metallurgica*, vol. 13, n.º 3, 1965, p. 227-238.

(6) — A. Sourdillon — Réflexions et remarques concernant les phénomènes accompagnant la trempe des aciérs. *Revue Universelle de Mines*, Liège, XCVII, Tomo X, Julho 1954, p. 415-429.

(7) — D. Harker e E. R. Parker — Grain Shape and Growth. *Transaction ASM*, 1945, 34, 156-195.

(8) — C. Smith — Grains, Phases and Interfaces: an Interpretation of Microstructure, in *Transactions of the American Institut of Mining and Metallurgical Engineer*, vol. 175, 1948, p. 15-51.

(9) — A. de Sy e J. Vidts — *Métallurgie Structurale*. Paris, Dunod 1962.

(10) — E. C. Bain e J. R. Vilella — Austenitic grain size in steel, in *Metals Handbook*, Ohio, ASM 1948, p. 339-406.

(11) — J. N. Petch — The cleavage strength of polycrystals. *Journal of the Iron and Steel Institute*, n.º 174, 1953, p. 25-28.

(12) — B. Jaoul - *Étude de la plasticité et application aux métaux*. Paris, Dunod 1965.

(13) — S. Floreen — The properties of low-carbon iron — nickel-chromium martensites. *Trans, Met. Soc. of AIM*, New York, vol. 236, Out. 1966. p. 1429-1440.

(14) — Ch. Crussard e B. Jaoul — Contribution à l'étude de la forme des courbes de traction des métaux et à son interpretation physique. *Les Memoires, Scientifiques de la Revue de Métallurgie*, Paris, tomo XLVII, 1950, p. 589-600.

(15) — J. Gokyu, e J. Kihara - The Grain Size dependence of the yield point in iron. *Proc. of International Conference on the strength of metals and alloys*, Tokio, vol. 9, 1969, 427-430.

(16) — A. V. de Seabra — Influência do tamanho de grão no limite de elasticidade em aços de médio teor em carbono e fracamente ligados. Comunicação a apresentar no 26.º Congresso da Associação Brasileira de Metais, 1971, Rio de Janeiro.

(17) — J. R. Low — The relation of microstructure to brittle fracture, in *Relation of Properties to Microstruture*, ASM, Cleveland, 1954, p. 173-175.

(18) — J. B. Austin — New thoughts on crystallization. *Metal Progress*, vol. 83, n.º 5, Maio de 1963, p. 67-74.

(19) — W.R. Wark e A.R. Elsea — Methods of strengthening the ultrahigh strength steels. *Defense Metals Information conter Battelle Memorial Institute*, April 2, 1962.

(20) — H. C. Desch — The solidification of metals from the liquid state. *J. Inst. of Metals* (1919), 22, 241.

(21) — E. Scheil e H. Wurst — *Statistische Gefügeuntersuchungen z. z. für Metal Kunde* (1936), 28, 340-3.

(22) — Béchet, Mme e Beaujard — Nouveau réactif pour la mise en évidence micrographique du grain austénitique des aciers trempés revenus. *Révue de Métallurgie*, Paris, n.º 10 1955, p. 830-836.

(23) — Harasymenko — *Metal Progress*, 30 Septembre 1936, p. 69.

(24) — A Kohn — Perfectionnement de la méthode par oxidation permettant la mise en evidence du grain réel d'austénite des aciers. *Révue de Metalurgie*, Paris, LI, n.º 2, 1954, p. 125-137.

# VII SEMANA DE ENGENHARIA CIVIL

## 15 A 24 DE MAIO, NO I. S. T.

A exemplo dos anos anteriores, os finalistas de Engenharia Civil organizam a «Semana de Engenharia Civil», a qual constará do seguinte programa:

Dia 15, às 10.30 h — *Inauguração* e *Visita Guiada*

11 h — *Conferência de abertura: Investigação e Universidade*, pelo Prof. Eng.º E. R. Arantes e Oliveira

Dia 17, às 15 h — *Colóquio* orientado pelo Prof. Eng.º Edgar Cardoso

Dia 18, às 15 h — *Colóquio — O Engenheiro Civil, a Escola e o Professor*

Moderador: Prof. Eng.º Manuel Rocha (LNEC)

Participantes: Eng.º Teixeira Trigo (LNEC)

Eng.º Úlpio Nascimento (LNEC)

Eng.º Monteiro de Barros (ICESA)

Dia 19, às 10.30 h — Conferência: *A coordenação dos serviços técnicos sectoriais e as posições a assumir*, pelo Prof. Eng.º Lobo da Costa

Dia 20, às 17 h — *Conferência sobre Cabora Bassa*

Dia 21, às 10 h — *Conferência sobre a Margueira*, pelo Prof. Eng.º Lobo Fialho

Dia 24 — *Palestra sobre Engenharia Sísmica*, pelo Eng.º António Mineiro

Durante a Semana estará aberta uma Exposição e haverá visitas e sessões de cinema.

ELECTROTÉCNICOS
REUNIDOS Lda.
av. duque de ávila, 66 -3°
lisboa
portugal

# SKF

## O maior fabricante mundial de rolamentos oferece-lhe agora, também outros produtos, dos quais destacamos:

Acoplamentos «KOPPERS»
Ferramentas de roscar
Grupos cônicos
Mangas de esferas «STAR»
Massa lubrificante
Material têxtil
Pontos rotativos
Redutores velocidade «SINCRON»
Retentores especiais «V-RING»
Retentores para indústria «RUBER»
Rodas e rodízios
Rolamentos de esferas, agulhas e roletes
Rótulas lisas
Tubos para condução de líquidos corrosivos incluindo água salgada
Variadores «SINCRON»

**apoiados como sempre numa ASSISTÊNCIA TÉCNICA PERFEITA**

SOCIEDADE **SKF** LIMITADA

Praça da Alegria, 66-A — LISBOA
Telefones 36 23 01-2-3-4

R. Delfim Ferreira, 604 — PORTO
Telefones 69 20 54-5-6-7-8

C. D. U. 624.131.439 : 539.501
624.131.438

# INFLUÊNCIA DAS TENSÕES NEUTRAS NEGATIVAS NAS CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DOS SOLOS COMPACTADOS

por EMANUEL MARANHA DAS NEVES
Engenheiro Civil, LNEC
Especialista em Geotecnia

RESUMO

*O presente trabalho refere-se ao estudo de solos argilosos compactados, e o seu objectivo imediato é a aquisição de elementos que possam contribuir para o conhecimento da reologia desses solos em termos de tensões efectivas.*

*Foi dada especial atenção à medição das tensões neutras instaladas na fase líquida do solo parcialmente saturado, bem como às técnicas que permitem conhecer a evolução dessas tensões durante os ensaios de determinação de características mecânicas.*

*Avaliou-se ainda, experimentalmente, a influência do estado de tensão endógeno, associado à situação de saturação parcial do solo, no comportamento desse mesmo solo após a saturação.*

*Os resultados indicam que o grau de saturação de fabrico determina todo o posterior comportamento reológico dos provetes. Nomeadamente, o grau de saturação de compactação condiciona a resistência ao corte dos provetes saturados, evidenciando assim efeitos estruturais relacionados com os condicionamentos introduzidos, quer durante o fabrico quer em estados consequentes, pelas tensões interfaciais.*

SYNOPSIS

*The present paper studies compacted clay soils in order to obtain experimental data which may help to investigate their rheology in terms of effective stresses.*

*Two points specially considered were the measurement of the neutral stresses in the liquid phase of a partly saturated soil and the procedures for determining the evolution of these stresses during tests of its mechanical properties.*

*The influence on the behaviour of the soil after saturation, of the endogenic state of stress due to the initial partial saturation, was also experimentally studied.*

*According to the results, the fabric percent saturation entirely determines the subsequent rheologic behaviour of the specimens. The influence of the compaction percent saturation on the shear strength of saturated specimens proves the occurrence of structural effects due to interfacial stresses introduced both during and after preparation of the samples.*

## 1 — INTRODUÇÃO

Na fase de construção duma barragem de terra, os solos colocados apresentam-se parcialmente saturados e exibem muito frequentemente tensões neutras negativas na fase líquida.

Posteriormente, com a entrada em operação da barragem, a maior parte do maciço evolui para um estado próximo da saturação total. Essa evolução processa-se num período de tempo fundamentalmente dependente das características do solo.

Ao analisar a estabilidade dos maciços terrosos saturados duma barragem, a decisão de admitir na resistência ao corte mobilizável uma parcela imputável à coesão é ainda hoje assunto controverso (Maranha das Neves, 1969).

O objectivo do trabalho aqui resumido consistiu na averiguação da existência de coesões residuais em solos argilosos compactados saturados, especialmente do ponto de vista da sua relacionação com o estado de não saturação dos aterros após compactação.

Como é bem sabido, a resposta dum solo saturado a solicitações tangenciais é função da tensão de consolidação. Para a gama de tensões de consolidação mais frequentes nos problemas de solos esta função pode representar-se por uma recta que passa pela origem. No entanto, se o solo em questão tiver sido pré-consolidado,

isto é, tiver sofrido anteriormente o efeito duma dada tensão de consolidação, a resposta é aproximadamente bilinear. Para tensões superiores à tensão de pré-consolidação, o comportamento do solo é normal, portanto de acordo com o inicialmente descrito. Mas para tensões de consolidação inferiores à tensão de pré-consolidação, a recta imagem da função que se pretende analisar intersecta o eixo das ordenadas (ou das tensões de corte) diminuindo o ângulo com o eixo das abcissas (ou das tensões de consolidação).

Ter-se-á pois que o solo memoriza a sua história de tensões, memorização essa que, associada à actual trajectória de tensões, determina o seu comportamento.

Como já foi referido, os solos compactados exibem normalmente tensões neutras negativas na fase líquida as quais, em valor absoluto, podem ser bastante elevadas. Por sua vez, esse estado de tensão na água e a acção da tensão superficial vinculada à interface ar-água, determinam na fase sólida «efeitos» que se manifestam por alterações das características mecânicas. Se essas alterações corresponderem a um acréscimo da capacidade resistente, os solos poderão exibir, dentro de certa gama de tensões, um comportamento análogo ao dos pré-consolidados.

Como há ampla evidência de que, finda a construção da barragem, as tensões neutras negativas podem permanecer instaladas nos aterros por largos períodos de tempo, é de crer que os solos em questão, ainda que posteriormente saturados, exibam coesões residuais. Ter-se-ia portanto que as resistências ao corte disponíveis seriam influenciadas pelas tensões neutras negativas iniciais.

Assim, estudaram-se os solos não saturados focando especialmente o problema da medição das tensões neutras negativas na fase líquida. Posteriormente, conduzindo os solos não saturados a um estado muito próximo da saturação, determinou-se experimentalmente a relação entre o seu comportamento em termos de resistências ao corte na rotura e os parâmetros que caracterizam o seu estado inicial não saturado.

A presente publicação resume uma investigação em que se procurou contribuir para um melhor conhecimento das propriedades mecânicas dos aterros argilosos compactados, com repercussão no dimensionamento de barragens de terra.

## 2 — DESCRIÇÃO DOS SOLOS E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS ENSAIADAS

### 2.1 — Descrição do tipo de solo utilizado na preparação das amostras

Os ensaios foram realizados com provetes obtidos por compactação de solos residuais, provenientes de alteração de xistos.

As características principais destes solos são as seguintes:

| | | |
|---|---|---|
| Limite de liquidez . . . . . | 48 | % |
| Índice de plasticidade . . . . | 27 | % |
| Limite de retracção . . . . . | 20 | % |
| Peso específico dos grãos . | 2,78 | g/cm³ |
| Fracção de argila < 2 μ . . | 48,0 | % |

Na figura 2.1 apresenta-se a curva granulométrica do solo.

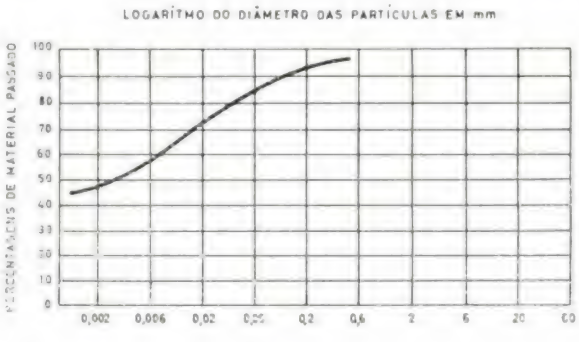



Fig. 2.1 — Curva granulométrica do solo utilizado nos ensaios

### 2.2 — Preparação das amostras empregues nos diversos ensaios

Para os ensaios de compressão simples e triaxiais, por razões a que no capítulo seguinte se fará referência, empregou-se o tipo de compactação estática. Consiste este processo em aplicar ao solo uma dada pressão, durante um certo intervalo de tempo, com a finalidade de diminuir o índice de vazios do solo.

Para a obtenção duma curva de compactação estática é pois necessário submeter a mesma quantidade de solo seco a uma dada pressão, durante um dado intervalo de tempo. Para estas condições, adicionando ao solo seco diversas

percentagens de água, determina-se o volume total correspondente no final da compressão.

No caso presente, a força necessária para provocar o adensamento do solo foi aplicada por intermédio duma haste ligada a um êmbolo onde actua uma pressão de ar seleccionada por um regulador. Um dispositivo adequado permite que a força actue ou deixe de actuar quase instantâneamente, podendo assim controlar-se com boa precisão o tempo durante o qual o solo é submetido à pressão de compactação. Medidos os volumes finais e conhecidos os teores de humidade, determinou-se a curva peso específico aparente seco — teor de humidade, representada na figura 2.2. Verifica-se que o peso específico aparente seco máximo é de 1,695 g/cm³, para um teor de humidade óptimo de 23 %.

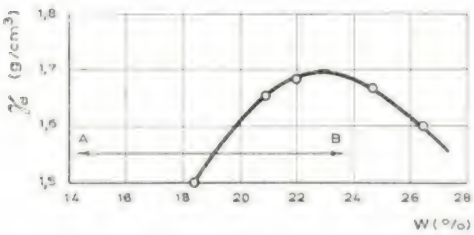



Fig. 2.2 — Curva de compactação estática

Mas, para os ensaios programados, foi necessário obter provetes com o mesmo peso específico aparente seco e diferentes teores de humidade. Na figura 2.2 essas características dos corpos de prova seriam representadas por pontos que estariam alinhados, por exemplo, segundo a recta AB. Dado que os provetes têm de ter iguais dimensões, o fabrico tem de assentar na obtenção, com o mesmo peso de solo seco, do mesmo volume final à custa de um certo trabalho de compactação para um dado teor de humidade.

Adoptou-se o peso específico aparente seco de 1,55 g/cm³, correspondente a um afastamento do teor de humidade em relação ao óptimo de - 4 % (figura 2.2).

A fim de que o adensamento se processasse o mais uniformemente possível ao longo de toda a altura do provete, utilizou-se uma montagem de acordo com o esquema da figura 2.3. Com a mesma intenção as paredes do molde são polidas e foram ligeiramente lubrificadas.

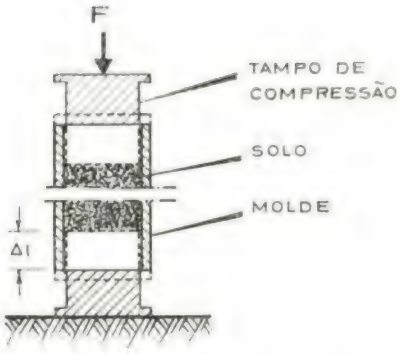



Fig. 2.3 — Compactação estática

## 3 — DESCRIÇÃO DA APARELHAGEM E TÉCNICA UTILIZADA NOS ENSAIOS

Dado que um dos aspectos do presente trabalho se relaciona com a análise do comportamento dos solos não saturados, uma das questões que se considerou necessário abordar foi a da medição das tensões neutras da fase líquida desses solos.

Como as tensões na fase líquida dum solo não saturado podem ser, tomando a pressão atmosférica como referência, negativas, e uma vez que não se dispunha de equipamento capaz de as medir, considerou-se como ponto de partida do presente trabalho a construção dum dispositivo capaz de efectuar eficientemente essa medição.

A técnica utilizada no equipamento e montagens referidas neste capítulo encontra-se descrita pormenorizadamente (Maranha das Neves, 1969).

### 3.1 — Descrição do equipamento e montagem para ensaios de compressão axial com medição de pressões neutras negativas

Como se sabe, uma das dificuldades a contornar na medição, por intermédio de células transdutoras, de pressões neutras negativas inferiores a −1 atmosfera, consiste na possível presença de ar na câmara de acesso ao diafragma da célula. Esta tem de ser convenientemente saturada para que se possam esperar resultados correctos. Mas, mesmo que tal condição seja satisfeita, o ar proveniente dos vazios do solo pode penetrar na célula. Um processo de resolver o problema consiste em interpor, entre o solo e a água do aparelho de medida, um meio permeável à água mas não permeável ao ar. No entanto, uma mon-

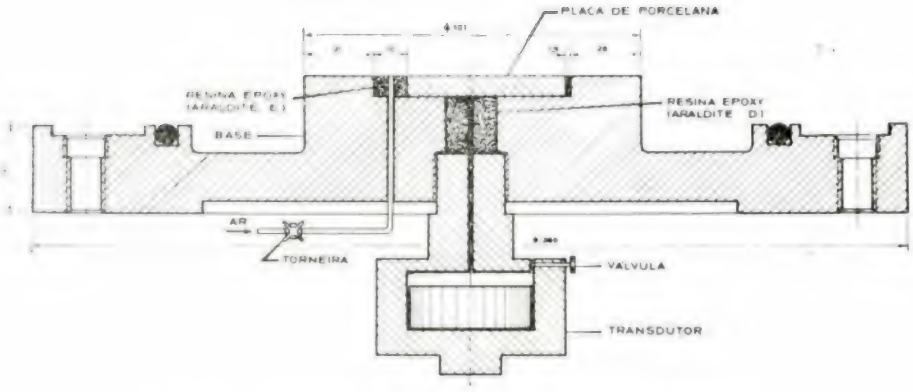



Fig. 3.1 — Esquema da base da câmara triaxial adaptada

tagem que, com estas características, pode considerar-se apta para medição de pressões neutras negativas não inferiores a −1 atmosfera, não evita que, para pressões inferiores àquele valor, surjam fenómenos de cavitação na água da célula. O equipamento deixaria de estar saturado, facto que implica os inconvenientes já referidos.

Mas a cavitação pode ser evitada se se elevar a pressão no ar dos vazios do solo, elevação essa que produzirá uma translação de igual valor na pressão da água na célula. A pressão negativa na água do solo ($u_w$) é então calculada a partir do valor conhecido da pressão no ar ($u_a$) e da pressão (u') registada na célula, pela expressão (Hilf, 1955)

$$u_w = u' - u_a \qquad (3.1)$$

A imposição duma pressão no ar dos vazios pode conseguir-se, desde que estes intercomuniquem, à custa duma variação conveniente da pressão de ar do ambiente em que se encontra a amostra.

Procurou-se assim projectar e construir uma aparelhagem que permitisse a realização de ensaios em que ficassem asseguradas, do ponto de vista prático, as condições que satisfazem o esquema teórico apresentado.

Em primeiro lugar, visto que se pretendia medir tensões neutras em solos não saturados submetidos a um dado estado de tensão, os dispositivos foram montados numa câmara triaxial. Utilizou-se para o efeito uma câmara triaxial com uma base própria para provetes com 10 cm de diâmetro e permitindo o emprego de pressões laterais até 12 kg/cm².

No pedestal desta base foi aberta uma reentrância para alojar uma placa de porcelana fina que funciona como meio semipermeável. A face inferior dessa placa está em comunicação com uma célula transdutora que permite medir pressões até 10 kg/cm². Na figura 3.1 apresenta-se um diagrama esquemático da base da câmara triaxial adaptada.

Para obter as leituras que se pretendiam de pressões neutras negativas até cerca de 10 kg/cm², teve de utilizar-se uma placa de porcelana com pressão de rotura hidráulica (Folque, 1968) igual a 10 kg/cm². Esta característica, para uma dada substância (no caso presente a porcelana), depende fundamentalmente do diâmetro dos poros ou, o que é equivalente, do mínimo raio de curvatura dos meniscos. Supondo por exemplo um poro de secção circular de raio $r$, a pressão de rotura hidráulica seria

$$u_{a_r} = \frac{2\gamma}{r}$$

em que $\gamma$ é a tensão superficial da água.

Considerando então uma pressão de ar $u_a$ tal que

$$u_a > u_{a_r}$$

o ar tenderá a substituir a água nos poros, outrotanto não sucedendo se $0 < u_a < u_{a_r}$.

É evidente que se admitem certas simplificações:

*a*) Considera-se a tensão superficial independente de $u_a$. Na realidade (Bosworth, 1950), para uma dada temperatura, tem-se que

$$\gamma = \frac{1}{C}\left(\rho_w - \frac{u_a}{u_{a_0}}\,\rho_a\right)^4 \qquad (3.2)$$

sendo $\rho_w$ o peso específico da água, $\rho_a$ o peso específico do ar à pressão $u_{a_0}$ e C uma constante. No entanto como $\gamma$ é igual a $74.10^{-6}$ kg/cm, substituindo $\rho_w$ e $\rho_a$ pelos seus valores verifica-se que se pode desprezar a diminuição da tensão superficial quando a pressão do ar aumenta.

*b*) Não é tida em linha de conta a pressão de vapor da água. Assim, a equação de equilíbrio será

$$u_a + u_d = \frac{2\gamma}{r} \qquad (3.3)$$

em que $u_d$ representa a pressão de vapor. Segundo Beek (1963) $u_a$, $u_d$ e r relacionam-se da seguinte maneira

$$u_d = u_{d_0}\left(1 - \frac{2}{r}\cdot\frac{V_{mw}}{RT}\right) \qquad (3.4)$$

em que

$u_{d_0}$ — pressão de vapor de água saturado à temperatura de 20 °C

$V_{mw}$ — volume molecular da água para $u_a = u_{a_0} = 1$ kg/cm² e para $r = \infty$

R — constante dos gases perfeitos

T — temperatura absoluta.

Sendo $V_a$ o volume de ar, ter-se-á pela equação dos gases perfeitos

$$u_a V_a = n RT \qquad (3.5)$$

Então, sendo $V_{ma}$ o volume molecular do ar, vem

$$RT = u_a \frac{V_a}{n} = u_a V_{ma}$$

$$u_d = u_{d_0}\left[1 - \left(\frac{2\gamma}{u_a \cdot r}\right)\frac{V_{mw}}{V_{ma}}\right] \qquad (3.6)$$

sendo as variações de pressão isotérmicas.

Para o caso da superfície livre dum líquido ($r = \infty$) vem $u_d = u_{d_0}$, isto é, a pressão de vapor é independente de $u_a$. No caso da formação de meniscos, $u_a$ e r variam em razão inversa, e $u_d$ só diminuirá, para $u_a$ crescente, se r decrescer menos ràpidamente do que $u_a$ cresce.

Como $u_{d_0}$ é bastante reduzido (17,5 mm de Hg = 0,0238 kg/cm²), o mesmo sucederá com $u_d$, pelo que a expressão 3.3 pode, sem erro apreciável, escrever-se

$$u_a = \frac{2\gamma}{r}$$

*c*) O valor do diâmetro dos poros não é, de modo algum, uniforme. O diâmetro que se considera como sendo o dos poros da placa é o diâmetro dos poros duma placa ideal de poros todos iguais, com uma pressão de rotura hidráulica igual à da placa real.

A placa foi fixada na reentrância do pedestal da base da câmara (figura 3.1) utilizando uma resina epoxy, de forma a assegurar uma ligação perfeita que impeça o ar de penetrar no sistema de medida.

Quanto à ligação ao transdutor, como há necessidade de proceder a uma saturação perfeita do sistema de medida, julgou-se conveniente que o trajecto placa-transdutor fosse o mais curto possível. Assim alargou-se para 2 cm o furo na base da câmara, tendo prèviamente retirado a placa de porcelana. Em seguida colocou-se um fio de nylon, mantido tenso por uma mola e centrado ao longo da abertura por uma placa de nylon (figura 3.2).

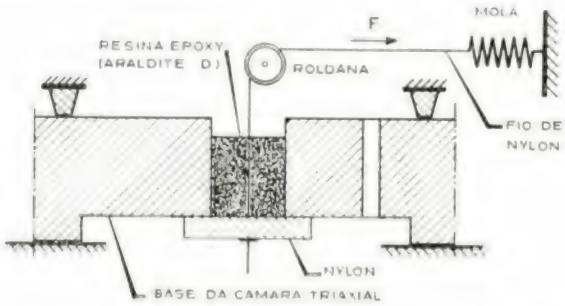



Fig. 3.2 — Esquema da montagem utilizada para estabelecer uma ligação placa de porcelana-transdutor

Foi então vertida na cavidade que rodeia o fio de nylon uma resina epoxy prèviamente preparada. Retirando posteriormente o fio, materializou-se um pequeno canal (0,6 mm de diâmetro) de superfície extremamente polida.

Na figura 3.3 vê-se a base da câmara triaxial com a placa de porcelana e o transdutor aplicados.

As deformações do provete em ensaios foram lidas por intermédio duma montagem que permite medir a variação de perímetro a meia altura do provete. O dispositivo consiste num fio de aço que, contornando a superfície lateral do provete com apoios em pequenos roletes de alumínio, tem um dos extremos preso à estrutura e o outro ligado a um deflectómetro (Folque, 1961). A figura 3.4 mostra em pormenor esta montagem.

Os ensaios decorreram numa sala de temperatura condicionada com a precisão de ± 1°C. Na figura 3.5 apresenta-se uma vista geral da montagem.

### 3.2 — Saturação do equipamento de medida de tensões neutras

Antes de realizar qualquer ensaio, o sistema para medição de tensões neutras tem de ser perfeitamente saturado a fim de evitar a presença de bolhas de ar que, quebrando a continuidade da fase líquida, introduziriam erro nas leituras.

Para conseguir saturação forçou-se a passagem de água «desaerada», a uma pressão elevada, através da placa de porcelana e do transdutor.

Transferiu-se a água para a câmara triaxial até recobrir a placa de porcelana e elevou-se a pressão do ar na câmara.

O transdutor possui uma válvula que se manteve aberta dando saída à água. Conseguiu-se assim que a maior parte do ar fosse retirada do interior do sistema por arraste. Fechando a válvula, solubilizou-se o ar por elevação da pressão da água, tendo-se finalmente procedido a uma cuidadosa verificação da saturação.

Fig. 3.3 — Base de câmara triaxial modificada para leitura de pressões neutras negativas

### 3.3 — Medição da tensão neutra negativa inicial de provetes de solo compactado não saturado

Depois de ter procedido à saturação descrita em 3.2, o provete foi colocado sobre a placa de porcelana, dando-se início à contagem do tempo e adaptou-se a estrutura metálica que rodeia a amostra, o que permitiu a medição das deformações transversais.

Durante o ensaio actuou-se sobre a pressão de ar $u_a$ para manter nula ou ligeiramente positiva a pressão $u'$ registada pelo transdutor. Como se viu, a pressão neutra da água do solo será

$$u_w = u' - u_a$$

No caso de $u' = 0$ (pressão atmosférica)

$$u_w = - u_a$$

O ensaio dá-se por terminado quando se verificar estabilização dos valores lidos para a tensão neutra da água do solo. Na figura 3.7 apresenta-se, a título exemplificativo, um diagrama com os valores de $u'$ e $u_a$ lidos durante o ensaio duma amostra. Igualmente se representa o valor de $u_w$ calculado.

Pode ainda fazer-se a verificação do sistema de leitura no fim do ensaio, isto é logo que os valores de $u_w$ se tenham estabilizado. Tomando como exemplo a amostra cujos resultados se apresentam na figura 3.7, procedeu-se à variação de $u_a$ por escalões e registaram-se os correspondentes valores de $u'$. Se o valor de $u_w$, deduzido dessas leituras, se mantiver constante (e igual à presssão negativa medida), a equação

$$u_w = u' - u_a$$

é verificada. Então o equipamento funciona satisfatòriamente. Na figura 3.8 apresentam-se os resultados obtidos durante esta verificação. O valor de $u' - u_a$ manteve-se constante e igual a $-0{,}5$ kg/cm², o que significa que é independente de $u_a$. Esta independência não deve ser considerada estritamente verdadeira (Bosworth, 1950) mas, no presente caso, pode tomar-se como tal.

### 3.4 — Compressão axial de amostras de solos compactados não saturados, com medição da pressão neutra na fase líquida e das deformações volumétricas

A compressão efectuou-se por imposição duma velocidade de deformação constante e, para minimizar os atrasos nas leituras das tensões neutras, optou-se por ensaios lentos.

Outro pormenor a ter em linha de conta é o modo como se procede à variação da pressão no ar. Tem de ser efectuada lentamente pois, de outro modo, introduz perturbações sensíveis na taxa de variação da carga axial que está sendo aplicada.

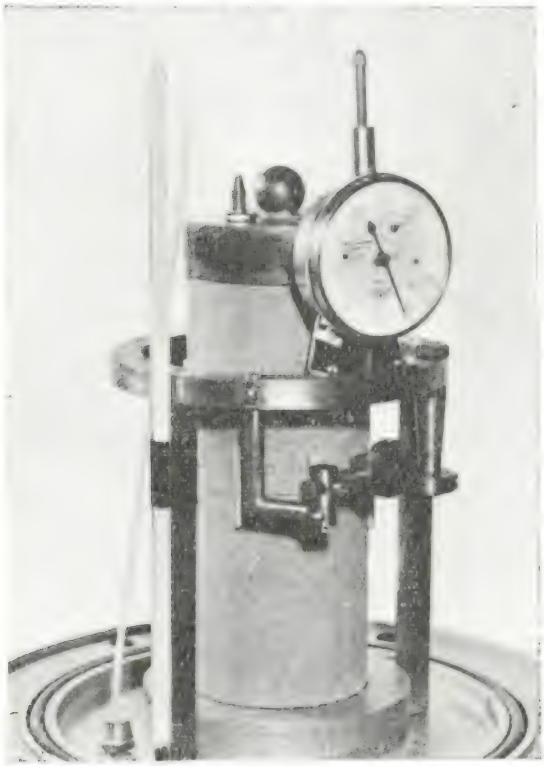


Fig. 3.4 — Montagem para medição de deformações transversais

Nas leituras periódicas registaram-se as pressões na água do transdutor e do ar na câmara, as deformações axial e transversal, a carga axial e a temperatura.

Com o dispositivo de medição de deformações transversais já descrito, determinou-se a variação do perímetro da secção circular a meia altura do provete. Com esse valor e o da deformação longitudinal, calculou-se a deformação volumétrica.

### 3.5 — Equipamento e montagem para ensaios de corte em compressão triaxial

Referindo-se este trabalho ao efeito das tensões neutras negativas no comportamento dos solos saturados, um dos ensaios a que houve necessidade de recorrer foi o de corte triaxial sobre amostras de fabrico análogo ao das ensaiadas em compressão axial. Essas amostras foram primeiramente submetidas a uma certa tensão de consolidação. Após estabilização das deformações, permitiu-se o acesso da água à amostra. Logo que cessaram as deformações da amostra e o fluxo de água, aplicou-se uma contrapressão gradual na água da amostra até o grau de saturação atingir um valor que rondava os 96 %. A amostra era então submetida ao corte com medição de pressões neutras.

De acordo com o referido no capítulo 2, as amostras a ensaiar no estado de não-saturação foram compactadas de molde a manterem o peso específico aparente seco, variando ùnicamente o teor de humidade. Ensaiadas estas segundo o processo já exposto, determinaram-se as carac-

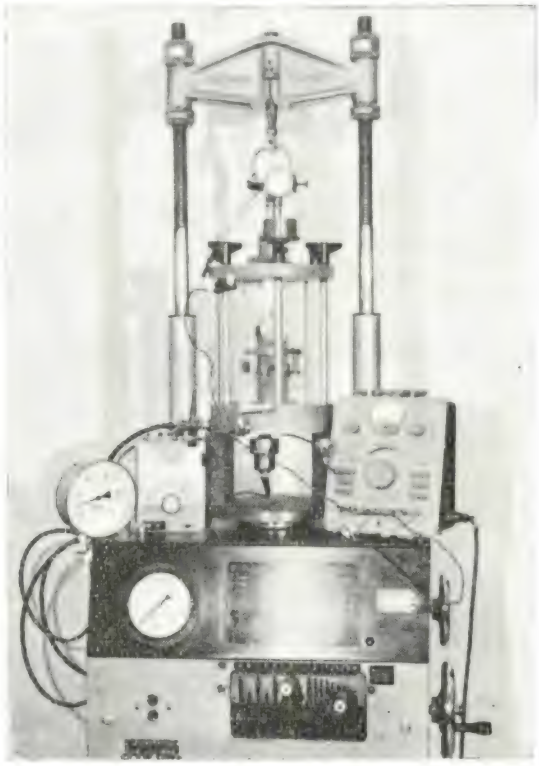


Fig. 3.5 — Ensaio de compressão com leitura de pressões neutras em solos não saturados

terísticas mecânicas que as caracterizam. Pretende-se assim uma correlação entre o grau de saturação de compactação e as características mecânicas exibidas na rotura e numa situação muito próxima da saturação.

Descritos sumàriamente o tipo e a finalidade dos ensaios, estes realizaram-se de acordo com a montagem esquematizada na figura 3.9 e apresentada parcialmente na figura 3.10

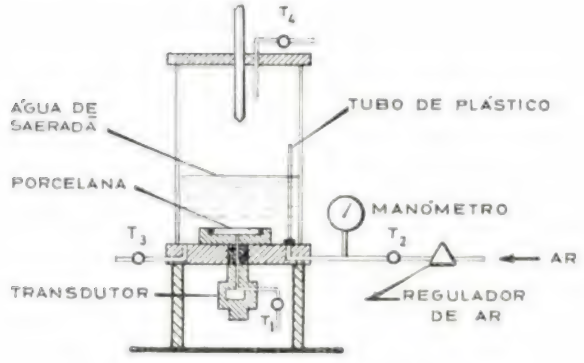



Fig. 3.6 — Saturação do sistema de medição de pressões neutras

## 3.6 — Consolidação e saturação das amostras

Com o equipamento referido em 3.5 consolidaram-se as amostras com baixas pressões laterais e, seguidamente, elevou-se o grau de saturação para um valor pré-fixado.

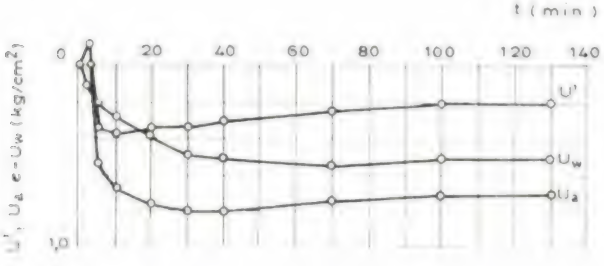



Fig. 3.7 — Ensaio para medição da tensão neutra negativa inicial. Evolução no tempo de u', $u_a$ e $u_w$

Durante a consolidação do solo não saturado pretendia-se, para poder controlar posteriormente o grau de saturação, que a amostra não absorvesse água da base da câmara triaxial. Para isso, intercalou-se tecido grosso de nylon entre a amostra e uma placa porosa fina e saturada. Como o terreno e a placa têm uma maior afinidade pela água (poros menores) que o tecido de nylon, não há troca de água entre o terreno e a placa. O esquema é o representado na figura 3.11.

Por intermédio da montagem esquematizada na figura 3.9 efectuaram-se todas as leituras que permitem o conhecimento das pressões aplicadas e cálculo das deformações sofridas. A amostra encontrava-se assim em condições de ser submetida ao corte.

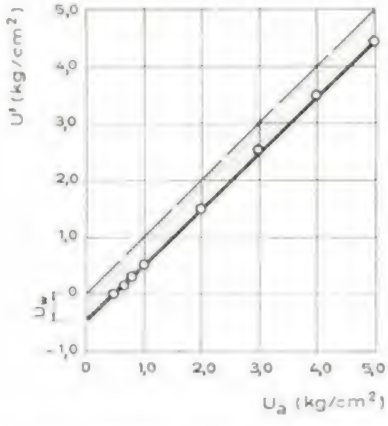



Fig. 3.8 — Verificação do sistema de medição de pressões neutras

## 3.7 — Cálculo do grau de saturação

As condições iniciais da amostra são as seguintes:

$V_{a_i}$ — volume de ar livre

$V_{ad_i}$ — volume de ar dissolvido ($V_{ad} = SV_w$)

$V_{w_i}$ — volume de água

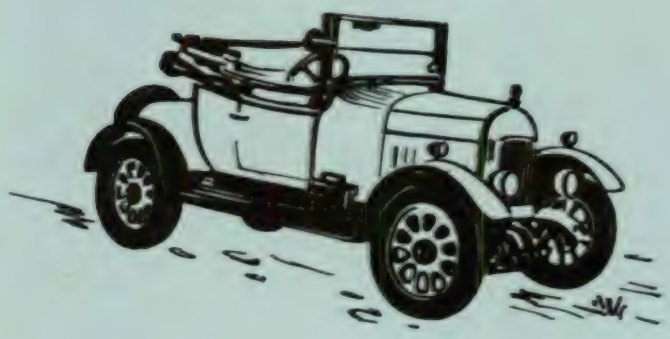
$V_i$ — volume total

$S_{r_i}$ — grau de saturação

S — coeficiente de solubilidade do ar na água.

Pretende-se determinar o grau de saturação, em qualquer instante, a partir dos valores medidos para a variação do volume de água da amostra, $V_w$, e variação do volume da amostra V.

Segundo a lei de Henry, o peso de ar que se dissolve num dado volume de água, a temperatura constante, é proporcional à pressão do ar. Seja $V_{ad}$ o volume ocupado pelo gás dissolvido, no caso de este ser extraído do líquido e comprimido a uma pressão igual à que o gás exerce no líquido. De acordo com as leis de Boyle e Henry, $V_{ad}$ será constante e independente da pressão, depen-



# OS VELHOS CALHAMBEQUES SÃO MAIS JOVENS DO QUE NÓS

**Durante meio século respondemos sempre às exigências da Indústria Automóvel.**

**E quanto ela evoluiu...**

**Mais leves, de linhas mais funcionais, de maior potência, e cada vez com maior duração, são algumas das características actuais das nossas baterias...**

**mas sabe que ainda não estamos satisfeitos?**

**A SUA SATISFAÇÃO É O NOSSO OBJECTIVO MAIOR.**

# TUDOR

**1920 — 1970**

TUDOR 50 ANOS

LISBOA · TOMAR · C. BRANCO · PORTO · COIMBRA · VISEU · EVORA · BRAGA · SETUBAL · AVEIRO · FARO

SERVIÇO
preciosos auxiliares do técnico moderno
PHILIPS
PROTECTORA
PENFLU
uma gama completa de sprays
Eficientes e económicos para serviço rápido
Os profissionais sabem que tempo é dinheiro. A gama Aerosol Philips inclui um limpa-contactos, verniz protector, fluido congelador, óleo penetrante e mais quatro úteis auxiliares para os tecnicos que se prezam de servir bem, com rapidez e economia.
PHILIPS
Para informações mais detalhadas, envie-nos este cupão
Aos Serviços Técnicos da Philips Portuguesa, S. A. R. L.
Apartado 1331 - Lisboa 1
Desejo receber documentação sobre a gama
Aerosol Philips
Nome
Morada

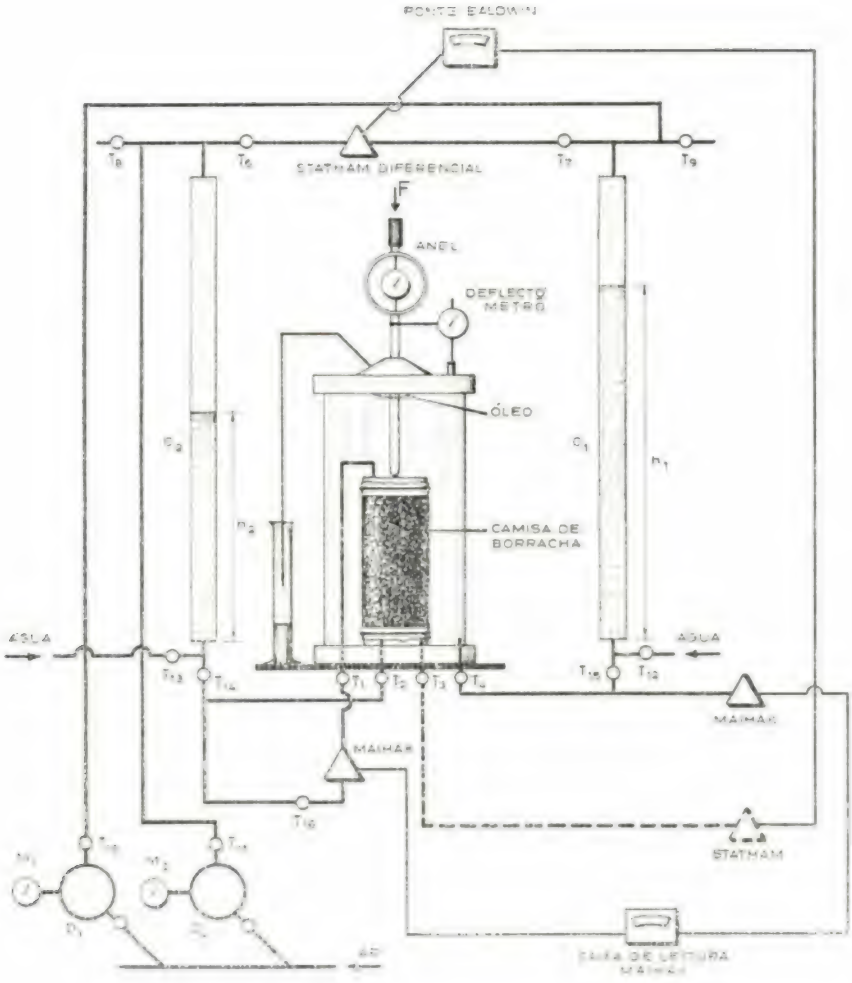



Fig. 3.9 — Esquema de montagem para realização dos ensaios triaxiais

dendo apenas do volume de água. Pode calcular-se multiplicando o volume de água pelo coeficiente de solubilidade. Assim:

$$V_{ad} = S V_w$$

Então, como a água que se introduz na amostra não é desaerada, pode determinar-se o volume de ar livre na amostra a partir da aplicação da lei de Boyle. Como $V_{aj}$ é conhecido, desde que se determine V e $V_w$ em qualquer instante, nesse mesmo instante se pode calcular o volume de ar na amostra e conhecer assim o grau de saturação.

### 3.8 — Ensaio de corte em compressão triaxial

Consolidada a amostra para uma tensão lateral de valor pré-fixado e elevado o seu grau de saturação para cerca de 96 %, a amostra era submetida a um ensaio triaxial, consolidado não drenado, com contrapressão e medição de tensões neutras e variações volumétricas.

Na figura 3.12 vê-se uma amostra durante o ensaio.

## 4 — RESULTADOS DOS ENSAIOS. INTERPRETAÇÃO

A abordagem experimental da influência das tensões neutras negativas instaladas num solo compactado, no comportamento dum mesmo solo após saturação, foi conduzida tendo em atenção as circunstâncias que a seguir se apresentam:

*a*) As tensões neutras negativas instaladas na fase líquida dum solo compactado não saturado determinam o comportamento desse material por intermédio do estado de tensão efectiva que nele originam.

*b*) A relação entre a tensão neutra negativa e a tensão efectiva dela derivada depende de múltiplos factores, tais como o grau de saturação, estrutura, forma e características mineralógicas das partículas sólidas, tipo de iões presentes na água, temperatura e ciclo de molhagem e secagem ou trajectória de tensões conducente a um valor particular do grau de saturação. No entanto a referida relação depende fundamentalmente do primeiro dos factores citados.

*c*) Sendo uma tensão efectiva a causa próxima da influência de tensões neutras negativas no comportamento do solo, dispõe-se de dois observáveis para avaliar dessa influência: resistência ao corte e deformabilidade volumétrica. Optou-se pelo primeiro, dado que a deformabilidade é mais dependente da trajectória de tensões. Assim, o estudo efectuado visou a caracterização, do ponto de vista da resistência ao corte, do solo compactado saturado que teve prèviamente instalada uma certa pressão negativa na fase líquida.

*d*) Os ensaios foram conduzidos sobre amostras preparadas com o mesmo solo, com o mesmo peso específico aparente seco e tipo de estrutura. O grau de saturação, no presente caso relacionado biunìvocamente com o teor de humidade, foi o parâmetro que se admitiu variar de amostra para amostra.

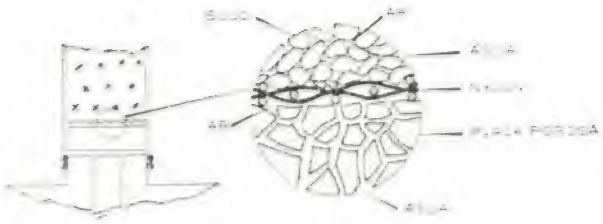


Fig 3.11 — Pormenor de montagem da amostra não saturada

*e*) Após compactação as amostras foram armazenadas por um período de tempo considerado suficiente para se processar uma redistribuição tendente à homogeneização da humidade no solo.

*f*) Em 2.2 houve ocasião de mencionar a técnica usada no fabrico das amostras por compactação estática. Mas que razões levaram à adopção

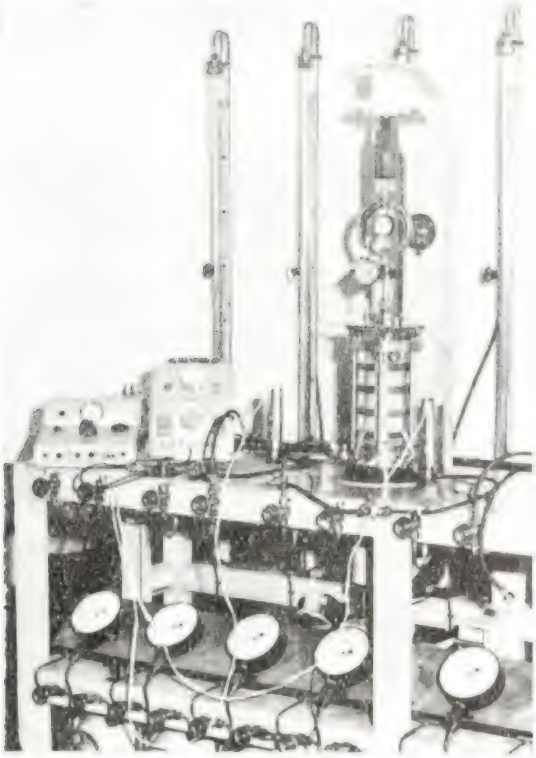


Fig. 3.10 — Montagem e equipamento utilizado na realização de ensaios triaxiais

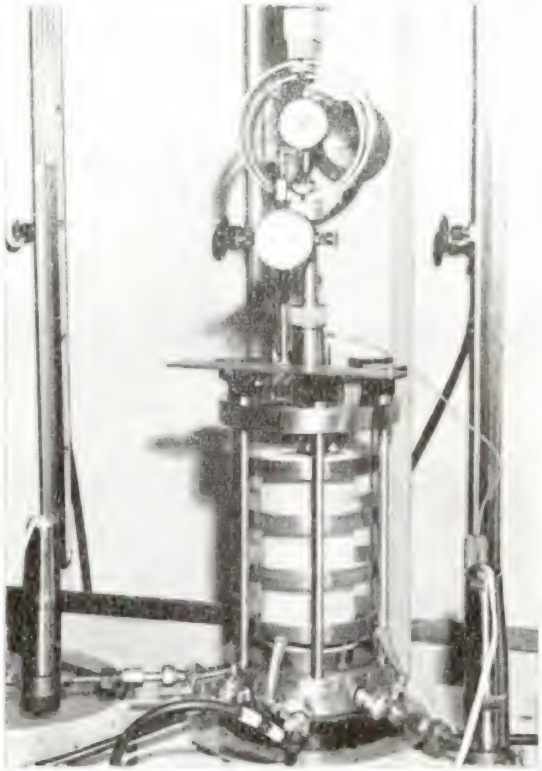


Fig. 3.12 — Amostra em ensaio de corte com compressão triaxial

deste tipo de compactação? A primeira consiste na maior facilidade em obter, para o mesmo volume total, amostras com diferentes teores em água mas iguais pesos específicos aparentes secos. A segunda relaciona-se com a estrutura do solo compactado. Na realidade está hoje experimentalmente determinado (Seed, 1959) que, para uma dada curva de compactação, as estruturas dos solos compactados no ramo seco são do tipo floculado ao passo que, no ramo húmido, esses mesmos solos exibem estruturas que podem ir do tipo floculado ao francamente disperso. No entanto, distinguindo os vários processos de compactação, verifica-se que o emprego da compactação estática conduz a solos de estrutura

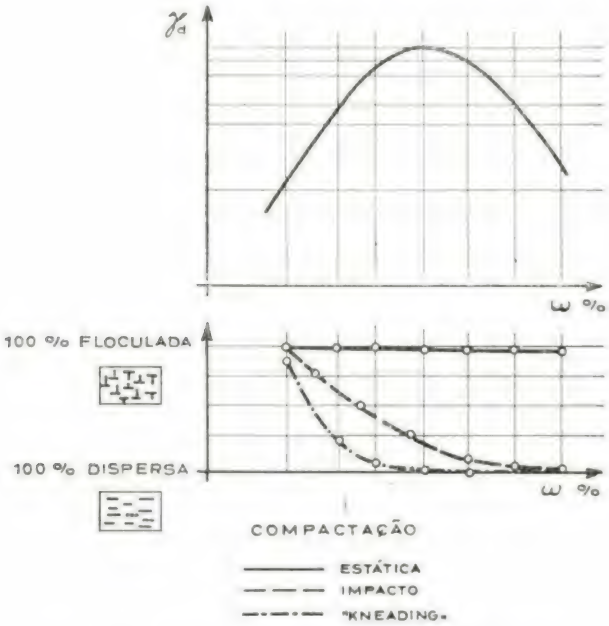



Fig. 4.1 — Influência do tipo e teor de humidade de compactação na estrutura

floculada, fenómeno que é pràticamente independente do teor de humidade com que se trabalha. Na figura 4.1 apresenta-se o esquema dum estudo qualitativo comparado do efeito dos tipos de compactação na estrutura do solo. Torna-se pois evidente a vantagem da compactação estática na minimização de influências de ordem estrutural. Este processo laboratorial não deixa de ter contrapartida real quando se compactam aterros com cilindros de pneus de grandes dimensões e alta pressão.

### 4.1 — Ensaios de compressão axial em solos não saturados. Medição de tensões neutras negativas e deformações volumétricas

Os provetes não saturados foram ensaiados em compressão axial por imposição duma velocidade de deformação axial constante, tendo-se efectuado a medida de deformação volumétrica e da tensão neutra. Como esta tensão era negativa os provetes estavam inicialmente submetidos a uma pressão efectiva $\bar{\sigma}_3$, independentemente de qualquer solicitação exterior. Durante os ensaios $\bar{\sigma}_3$ sofreu uma evolução dependente do seu valor inicial e da velocidade de deformação adoptada.

Para graus de saturação superiores a 85 % os vazios ocupados pelo ar nem intercomunicam nem permitem o acesso ao ar exterior (Sparks, 1963), situação que é incompatível com a técnica utilizada na medição das tensões neutras negativas. Por isso as amostras utilizadas não exibiam graus de saturação muito elevados. Finalmente, para evitar influências imputáveis a variações térmicas, a preparação e ensaio das amostras realizou-se numa sala com temperatura condicionada (20 ± 1 °C).

QUADRO 4.I

*Amostras compactadas estàticamente — 1.ª série ($\gamma_d$ médio = 1,554 g/cm³)*

| AMOSTRA | TEOR DE HUMIDADE W (%) | PESO ESPECIF. APARENTE SECO $\gamma_d$ (g/cm³) | $\gamma_d - \gamma_d$ MÉDIO (g/cm³) | GRAU DE SATURAÇÃO $S_r$ (%) | TIPO DE ENSAIO |
|---|---|---|---|---|---|
| 34 | 14,7 | 1,574 | + 0,020 | 63,2 | NÃO SAT. |
| 21 | 17,6 | 1,560 | + 0,006 | 62,6 | " " |
| 30 | 18,4 | 1,541 | - 0,013 | 63,7 | " " |
| 27-A | 18,8 | 1,547 | - 0,007 | 65,7 | " " |
| 33 | 19,0 | 1,560 | + 0,006 | 67,4 | SAT. |
| 32 | 19,5 | 1,545 | - 0,009 | 67,8 | " |
| 35 | 19,5 | 1,554 | 0,000 | 68,7 | " |
| 21-A | 20,0 | 1,563 | + 0,009 | 71,5 | NÃO SAT. |
| 31 | 21,2 | 1,548 | - 0,006 | 74,0 | " " |
| 22-A | 21,4 | 1,547 | - 0,007 | 74,7 | " " |

Foram preparadas duas séries de amostras, uma com dez outra com dezoito provetes.

As principais características de cada amostra estão resumidas nos quadros 4.I (1.ª série) e 4.II (2.ª série).

## QUADRO 4.II

*Amostras compactadas estàticamente — 2.ª Série*

| GRUPO | AMOSTRA | PESO ESPECÍFICO APARENTE SECO $\delta_d$ (g/cm³) | $\delta_d - \delta_{d\,MÉD}$ | TEOR DE HUMIDADE $w$ (%) | $w - w_{MÉD}$ (%) | GRAU DE SATURAÇÃO NO ENSAIO | GRAU DE SATURAÇÃO NO INÍCIO DO ENSAIO $S_r$ (%) | GRAU DE SATURAÇÃO NO FIM DA CONS. SAT. $S_f$ (%) | PRESSÃO DE CONSOLIDAÇÃO $\sigma_3$ (kg/cm²) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [illegible] $\delta_{d\,MÉD}$ 1,565 (g/cm³) $w_{MÉD}$ [illegible] (%) | 58-A | 1,565 | -0,010 | 15,35 | +0,24 | SAT | 80,45 | 96,4 | 0,400 |
| | 59 | 1,562 | +0,007 | 15,48 | +0,64 | SAT | 84,41 | 97,8 | [illegible] |
| | 60 | 1,562 | +0,007 | 17,[illegible] | [illegible] | SAT | 80,74 | 96,8 | 0,200 |
| | 61 | 1,561 | [illegible] | 14,89 | -0,23 | SAT | 80,12 | 94,7 | 0,300 |
| | 62 | 1,560 | +0,005 | 15,[illegible] | +0,53 | SAT | 82,87 | 96,6 | 0,450 |
| | 63 | 1,562 | [illegible] | 15,29 | +0,17 | ≈ SAT | 81,82 | — | — |
| [illegible] $\delta_{d\,MÉD}$ 1,555 (g/cm³) $w_{MÉD}$ [illegible] (%) | 64 | 1,565 | -0,010 | 19,80 | +0,28 | SAT | 88,72 | 99,8 | 0,150 |
| | 34 | 1,562 | [illegible] | 19,21 | +0,36 | SAT | 88,47 | 99,7 | 0,300 |
| | 35 | 1,558 | +0,[illegible] | 19,90 | +0,32 | SAT | [illegible] | 99,2 | 0,400 |
| | 36 | 1,563 | [illegible] | 19,43 | -0,09 | SAT | 89,26 | 99,5 | 0,600 |
| | 37 | 1,558 | +0,011 | 19,27 | -0,32 | ≈ SAT | 88,33 | — | — |
| | 38 | 1,559 | [illegible] | 19,53 | -0,16 | ≈ SAT | 89,52 | — | — |
| [illegible] $\delta_{d\,MÉD}$ 1,535 (g/cm³) $w_{MÉD}$ [illegible] (%) | 19 | 1,537 | +0,002 | 20,77 | -0,61 | SAT | [illegible] | 99,9 | 0,400 |
| | 20 | 1,534 | [illegible] | 21,05 | -0,23 | SAT | 79,70 | 99,2 | 0,600 |
| | 58 | 1,547 | [illegible] | 21,49 | +0,58 | SAT | 79,49 | 99,5 | 0,600 |
| | 72 | 1,544 | +0,011 | 21,32 | [illegible] | SAT | [illegible] | 99,5 | 0,800 |
| | 73 | 1,540 | +0,006 | 20,92 | 0,48 | ≈ SAT | 79,32 | — | — |
| | 74 | 1,543 | -0,011 | 21,43 | [illegible] | ≈ SAT | [illegible] | — | — |

As amostras permaneceram armazenadas pelo período de uma semana, as da primeira série, e duas semanas, as da segunda. A determinação da tensão neutra negativa inicial, de acordo com o referido em 3.3, realizou-se sobre as amostras assinaladas nos quadros com a designação de não saturadas e conduziu aos resultados representados na figura 4.2. A comparação das curvas 1 (1.ª série) e 3 (2.ª série) indica que, para as amostras a que correspondem teores de humidade mais elevados, a tensão neutra instalada foi ligeiramente influenciada pelo tempo durante o qual o solo esteve em repouso. No entanto, dada a dispersão com que se podem efectuar estas medições, os resultados dos ensaios das duas séries são bem representados por uma curva única. É a designada por 2 na figura 4.2 e, como o índice de vazios é constante, pode verificar-se a influência do grau de saturação nas pressões neutras negativas. Também é interessante salientar que, para o teor de humidade 23 %, correspondente ao óptimo na compactação estática, e para um peso específico igual a 92 % do máximo, a pressão neutra na água é de -0,8 kg/cm².

Determinado o valor inicial da pressão neutra nestas amostras, realizaram-se os ensaios de compressão axial mencionados em 3.4. As velocidades de deformação impostas foram 0,00165 e 0,00041 mm/min. respectivamente para a 1.ª e 2.ª séries.

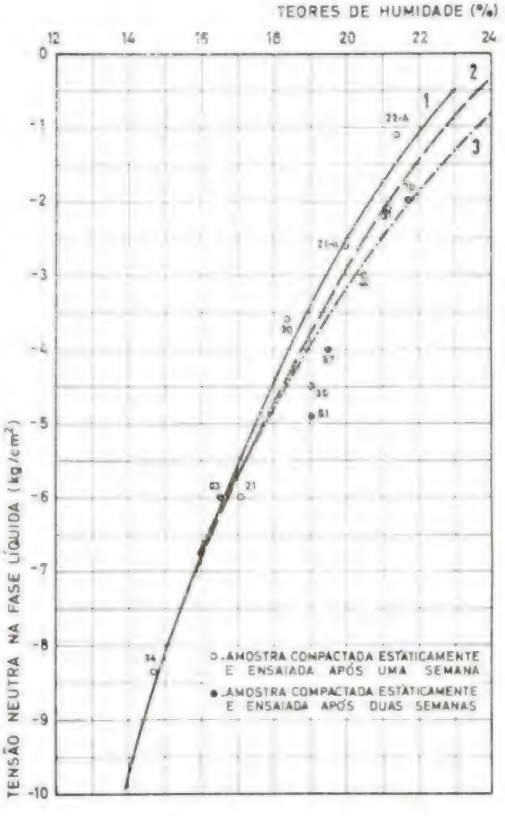
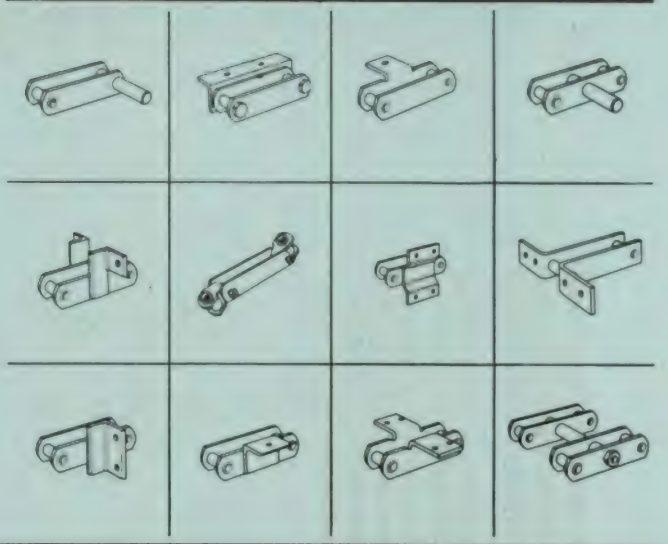



Fig. 4.2 — Tensão neutra na fase líquida em função do teor de humidade de compactação

*(Continua)*

# RENOLD LIMITED

## Correntes transportadoras rodas e accessorios — RENOLD



Correntes transportadoras padronizadas, de 1" até 24" de passo, 3000 lbs. até 85000 lbs. de carga de rotura. Linha completa de rodas e accessórios padronizados.

Correntes com articulação simples ou multipla para cargas suspensas.

Correntes padronizadas, para o transporte de garrafas e outras aplicações especializadas.

RENOLD

HOLROYD

Crofts

CARTER
HYDRAULIC INFINITELY VARIABLE SPEED DRIVES

Outros produtos para a transmissão de força e manejo mecânico, incluindo:

CORRENTES DE ROLOS DE PRECISÃO E RODAS
ENGRENAGENS E REDUTORES, DE REDUÇÃO FIXA E VARIAVEL,
LUVAS DE ACOPLAMENTO,
EMBRAIAGENS E FREIOS.

*Informações técnicas sobre a linha completa de produtos RENOLD e HOLROYD na:*

**HARKER SUMNER & CIA., LDA.**
**38 Rua de Ceuta, 48**
**PORTO**
Apartado No. 162. Tel: 27054 (4 linhas)
**14 Largo do Corpo Santo, 18**
**LISBOA-2**
Tel: 324823, 35124, 369028

RENOLD

RENOLD LIMITED • MANCHESTER • ENGLAND

HOJE E SEMPRE... os aglomerados

ISOLA

ISOLA

- para isolamentos térmicos
acústicos
vibráticos

FAZEM PARTE INTEGRANTE
DA ARQUITECTURA MODERNA

Soc. Comercial de Isolamentos
de Cortiça, Lda.

AV. ANTÓNIO AUGUSTO DE AGUIAR, 17
LISBOA
Tel: 53 7191 Teleg: Isola

10.000 obras realizadas

- coberturas
- perfis especiais
- vigas pré-esforçadas
- pavimento trief
- protecção de segurança
- mosaicos
- tubos

materiais novobra

PAVIMENTOS

EM BETÃO PRÉ-ESFORÇADOS (HOMOLOGADOS PELO LAB. NAC. DE ENGENHARIA CIVIL)

LEIRIA
PONTE DAS MESTRAS
TEL. 5 1 7 5 9

LISBOA
AV. EST. UNIDOS DA AMÉRICA, 100, 5.º Dto.
TEL. 77 19 51 - 77 19 52

LAGOA
ESTRADA DO CARMO
TEL. 94

FUNDAÇÕES
ESPECIAIS

JOHANN KELLER
CASCAIS

# Resumo dos artigos publicados na Técnica n.º 406

## Ano XLVI — Março 1971

DELGADO DOMINGOS — U. C. D. 532.517.4

**The fundamental equations of turbulent incompressible flows**

**Técnica No. 406 — XLVI — 3. 1971, pág. 287-298.**

Deduzem-se as equações fundamentais para o estudo dos escoamentos turbulentos incompressíveis e discutem-se as hipóteses fundamentais e suas limitações. Apresenta-se um resumo sucinto da posição actual da teoria matemática das equações de Navier-Stokes e do seu tratamento numérico.
Discute-se em pormenor a equação de energia cinética da turbulência e a sua correcta dedução, tendo em conta o papel central que a mesma desempenha na formulação de modelos de turbulência.
Todo o trabalho é orientado sob o ponto de vista da engenharia, no sentido do cálculo do escoamento médio.

J. H. WHITELAW — C. D. U. 532.517.4 : 532.526

**Prediction procedures for two — dimensional, boundary layer flows: equations and assumptions**

**Técnica No. 406 — XLVI — 3. 1971, pág. 299-308.**

Consideram-se e discutem-se as hipóteses e equações relevantes para métodos de cálculo dos escoamentos médios bidimensionais do tipo camada limite em regime turbulento.
Formulam-se e discutem-se os tipos de equações que descrevem as características de turbulência, desde o modelo simples que não utiliza equações diferenciais, até aos mais complexos que envolvem sistemas de equações simultâneas. As vantagens relativas dos vários tratamentos são apresentadas. A justificação física para as hipóteses inerentes em cada conjunto de equações é indicada.

DUARTE - RAMOS — C. D. U. 537.226

**Concepção física e interpretação analítica das perdas dieléctricas**

**Técnica No. 406 — XLVI — 3. 1971, pág. 309-317.**

Estudam-se as perdas por condução, devidas à polarização e causadas por descargas parciais. Para isso analisam-se as variações da condutividade diélectrica e da permitividade e calcula-se o esquema equivalente de um dieléctrico com cavidades.

ANTERA DE SEABRA — C. D. U. 669.112.227.1 : 620.186.8

**Grão austenítico: sua formação, influência e avaliação**

**Técnica No. 406 — XLVI — 3. 1971, pág. 319-334.**

Após a definição de grão austenítico o autor expõe as considerações fundamentais relativas à formação e crescimento do grão e à incidência do tamanho do grão nos tratamentos térmicos e nas características mecânicas do aço. Cita em seguida os principais métodos de avaliação do tamanho do grão austenítico e apresenta uma sistematização da aplicação desses métodos consoante o tipo de aço.

MARANHA DAS NEVES — C. D. U. 624.131.439 : 539.501 624.131.438

**Influência das tensões negativas nas características estruturais dos solos compactados**

**Técnica No. 406 — XLVI — 3. 1971, pág. 335-354.**

O presente trabalho refere-se ao estudo de solos argilosos compactados, e o seu objectivo imediato é a aquisição de elementos que possam contribuir para o conhecimento da reologia desses solos em termos de tensões efectivas.
Foi dada especial atenção à medição das tensões neutras instaladas na fase líquida do solo parcialmente saturado, bem como às técnicas que permitem conhecer a evolução dessas tensões durante os ensaios de determinação de características mecânicas.
Avaliou-se ainda experimentalmente, a influência do estado de tensão endógeno, associado à situação de saturação parcial do solo, no comportamento desse mesmo solo após a saturação.
Os resultados indicam que o grau de saturação de fabrico determina todo o posterior comportamento reológico dos provetes.

# Synopsis of articles published in «Técnica» nº 406

## XLVI — March 1971

ANTERA VALERIANA U. D. C. 669.112.227.1 : 620.186.8

**Austenitic grain : formation, influence and estimation**

**Técnica No. 406 — XLVI — 3. 1971, pag. 319-334.**

After defining austenitic grain the author presents some fundamental considerations regarding the formation and growth of the grain, and the incidence of grain size in thermic treatments and on the mechanical characteristics of the steel. She proceeds by quoting the principal methods of estimating the austenitic grain size, and presents a systematization of the application of these methods in accordance with the type of steel

DELGADO DOMINGOS U. D. C. 532.517.4

**The fundamental equations of turbulent incompressible flows**

**Técnica No. 406 — XLVI — 3. 1971, pag. 287-299.**

The fundamental equations for the study of turbulent incompressible flows are derived and its underlying assumptions and limitations discussed. Present knowledge regarding mathematical and nnmerical aspects of the Navier-Stokes equations are briefly presented. Special attention is given to a correct derivation and discussion of the turbulent kinetic energy equation having in mind its central position in the development of turbulence models for prediction purposes.
All the paper is oriented towards engineering prediction procedures of mean flow behaviour.

MARANHA DAS NEVES U. D. C. 624.131.439 : 539.501 624.131.438

**The influence of negative neutral stresses on the structural characteristics of compacted soils**

**Técnica No. 406 — XLVI — 3. 1971, pag. 335-354.**

The present paper studies compacted clay soils in order to obtain experimental data which may help to investigate their rheology in terms of effective stresses.
Two points specially considered were the measurement of the neutral stresses in the liquid phase of a partly saturated soil and the procedures for determining the evolution of these stresses during tests of its mechanical properties. The influence on the behavionr of the soil after saturation, of the endogenic state of stress due to the initial partial saturation, was also experimentally studied.
According to the results, the fabric percent saturation entirely determines the subsequent rheologic behaviour of the specimens.

J. H. WHITELAW U. D. C. 532.517.4 : 532.526

**Prediction procedures for two-dimensional, boundary layer flows : equations and assumptions**

**Técnica No. 406 — XLVI — 3. 1971, pág. 299-308.**

The equations and assumptions relevant to prediction procedures for turbulent, two dimensional, boundary-layer flows are considered and discussed. Sets of equations, from the simple case where no diferential equations are used to describ the turbulence characteristics, to the more complex cases which require several differential equations, are formulated and the relative advantages of each set is made clear. The physical justification for the various assumptions in each set of equations is indicated.

DUARTE RAMOS U. D. C. 537.226

**Physical and mathematical interpretation of dielectric losses**

**Técnica No. 406 — XLVI — 3. 1971, pág. 309-317.**

The losses of conduction, of polarization and by partial discharges are studied. For that we analyse the variations of the conductivity and the permitivity, and an equivalent diagram of the partial discharges in voids is calculated.

# BIBLIOGRAFIA

*Classificadores responsáveis: Francisco Pedroso, José Xambre Bento, Maria Teresa Lemos, Pedro Rodrigues e Nuno Pinto da Silva.*

*Serão criticadas as obras cujo assunto esteja no âmbito da «Técnica» e de que nos sejam enviados dois exemplares.*

*As revistas recebidas na Redacção, de que se publica uma selecção de fichas de artigos ordenadas pela Classificação Decimal Universal, podem ser consultadas na Biblioteca da A.E.I.S.T.*

## LIVROS

**C. D. U.** 539.3/.5

**Teoria elementar das charneiras plásticas** — *Prof. Dr. Eng.º Telémaco van Langendonck,* Catedrático da Escola Politécnica da Universidade de S. Paulo.

Edição 1970 da Associação Brasileira de Cimento Portland, formato 18x26, 414 págs.

Este operoso e distinto professor veio enriquecer a literatura da especialidade com o presente volume que constitui uma notável contribuição para tornar mais acessível a difusão de conhecimentos relativos aos estudos lançados em 1931 por K. W. Johansen sobre a teoria das linhas de rotura.

Em língua portuguesa já se tinham ocupado do assunto dois distintos professores brasileiros: Samuel Chamecky e Ivo Wolff. Não se pense, todavia, que pelo facto de o livro se intitular «Teoria Elementar» estamos em presença de um manual para aplicação imediata das soluções que se estudam ao longo das quatro centenas de páginas. O que se pretenderá certamente exprimir é que todo o estudo é feito despido de expressões matemáticas complicadas, apenas com o recurso expresso às matemáticas elementares. Mas a teoria das linhas de rotura, ou das charneiras plásticas como lhe chama o Autor, continua a ser matéria que exige muito e demorado estudo.

O Autor chama a atenção daqueles que criticam o uso dos métodos de cálculo de lajes em regime plástico, fundamentados na falta de correspondência com a realidade (onde é que se viu uma charneira perfeitamente linear numa laje de betão armado?) respondendo-lhes que o mesmo sucede com o dimensionamento em regime elástico, concluindo que se não deve ficar apegado exclusivamente ao cálculo em regime elástico, mas estudar, também, o regime plástico, para aplicar cada um no caso mais conveniente e diz: «Nem um nem outro deve ser desprezado».

O livro, dividido em duas partes, apresenta-se como o primeiro tomo de uma publicação que se deseja ver continuada.

A 1.ª parte do livro aplica-se em esclarecer noções fundamentais para aplicação subsequente.

A 2.ª parte, é ocupada com a carga concentrada e trata de: Lajes com contorno convexo inteiramente apoiado; lajes com contorno apoiado não convexo; lajes apoiadas fora do contorno, lajes com apoio interrompido; lajes em balanço e lajes com orifícios; lajes ortótropas e lajes com armadura interrompida.

O Autor teve a preocupação de destinar este trabalho ao «estudante para o seu melhor conhecimento do assunto» e ao «engenheiro para este obter os elementos de que necessita para uso corrente daquela teoria».

Numerosos exemplos acompanham os diferentes casos. Edição muito cuidada da Associação Brasileira de Cimento Portland. *M. B.*

## ARTIGOS DE REVISTAS

**C. D. U.** 079.5 : 008.4 (045) 46

**La Investigación Industrial** — *José Alemán Vega.*

Ion — 7-70, vol. XXX n.º 348 pág. 401.

**C. D. U.** 515

**Sur les équations de Codazzi pour Vn-1 de Vn** — *P. Stavz I. Virlan*

Bol. Inst. Pol. «Gheorg—Gheorghiu» —VII-VIII-70, vol. XXXII n.º 4.

**C. D. U.** 517

**Groupes de mouvement et directions des lienes de courbure** — *C. Udriste.*

Bol. Inst. Pol. «Gheorg — Gheorghiu»., VII-VIII-70, vol. XXXII n.º 4.

**C. D. U.** 518.3

**Sur certaines classes d'équations répresentées par des nonogrammes à plans superposès, à trois degrés de liberté pour le plan mobile, en n'utilisant dans des plans que des éléments non cotés** — *G. M. D. Ionescu.*

Bol. Inst. Pol. Gheorg — Gheorghiu, VII-VIII-70, vol. XXXII, n.º 4.

**C. D. U.** 53.084

**Instruments Scientifiques.**

Écarts technologiques — OCDE, 1968 pág. XIII + 204.

**C. D. U.** 535 22

**Le théorème des images dans le cas des millieux anisotropes aniaxe** — *G. C. Moisil.*

Bol. Inst. Pol. «Gheorg — Gheorghiu VII-VIII-70 vol. XXXII n.º 4.

**C. D. U.** 536.7 : 536.711 : 536.74 : 541.124 (045) - 437

**Relation of temperature and concentration fields in non-ideally mixed adiabatic homogeneous flow reactor** — *V. Václavek.*

Collection of Czechoslovak. Chemical Communications. 3-70 vol. 35 n.º 3 pág. 923.

SOCIEDADE DE CONSTRUÇÕES

**AMADEU GAUDÊNCIO**

**LIMITADA**

SEDE — R. ALEXANDRE BRAGA, 4-A — LISBOA
Tel. 560051 — Telg. CONSTRUÇÃO
R. CASAL DO PEDRO, 7 — MASSARELOS — PORTO
Telefone 691245

Mais de 50 anos de experiência

**CONSTRUÇÕES**
**CIVIS E INDUSTRIAIS**
**BETÃO**
**ARMADO E PRÉ-ESFORÇADO**
**CARPINTARIA**
**ESTUQUES**
**PINTURAS**

SOCIEDADE INDUSTRIAL METALURGICA

Responsabilidade Limitada

(REGISTADO)

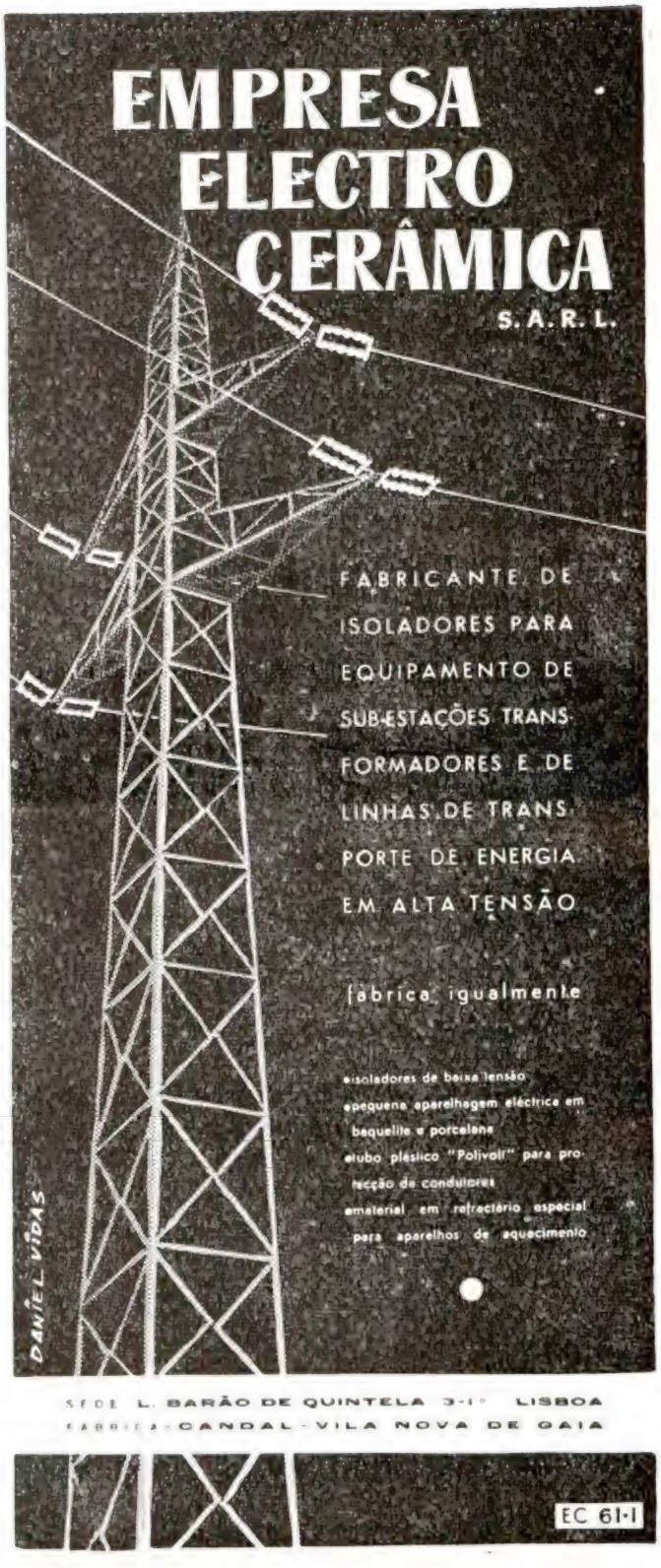
SERRALHARIAS,
CALDEIRARIA,
FERRARIA,
FUNDIÇÕES

ESCRITÓRIO

**Rua de S. Tiago, 13**

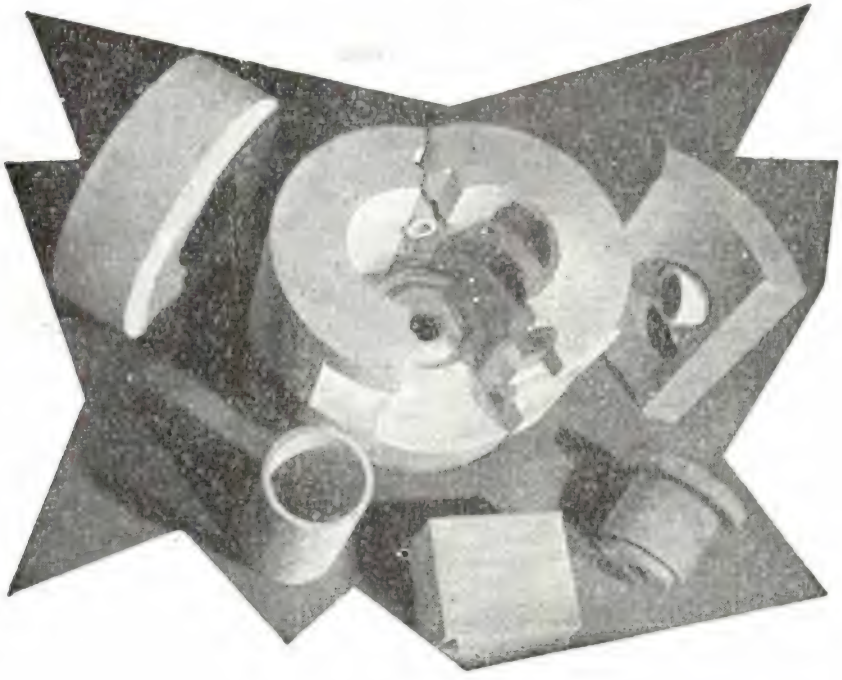
**LISBOA**

Telefone 861972



a técnica moderna emprega

# BETÕES REFRACTÁRIOS



a base dos cimentos

## FONDU LAFARGE

e

## SECAR 250

porque são

práticos
eficientes
económicos

## REFRACTÁRIOS ATE 1800° C

## REFRACTÁRIOS ISOLANTES ATÉ 1700° C

Os nossos serviços técnicos, especializados, estão à vossa inteira disposição para estudar, sem qualquer encargo da vossa parte, a adaptação dos BETÕES REFRACTÁRIOS a todos os vossos problemas

AGUIAR & MELLO, L.DA

P. do Município, 13-1.º — LISBOA — Tel. 32 11 51/2

C. D. U. 54.001 : 536.71 (045) 748

**«Calculation of themodynamic functions from equilibrium Data»** — *P. D. Bolton.*

Journal of Chemical Education, 9-70, vol. 47, n.º 9, pág. 638.

C. D. U. 54.001 : 536.74 (045) 748

**The so-called Zeroth Law of Thermodynamics:** — *Otto Redlich,*

Journal of Chemical Education, 11-970, vol. 47, n.º 11 pág. 740-741.

Depois de nos apresentar o «princípio», o autor dá-nos a conhecer a maneira como Maxwell e Poincaré comentam este assunto.

Em seguida é feita uma generalização, e discutida a validade de uma postulação do princípio.

C. D. U. 54.001 : 541.64 : 678.1 : 541-162 (045) 40

**C, application des méthodes microscopiques à l'étude des hauts polymères organiques partiellement cristallins** — *Günter Rüprich. Hans Heinz Seyfarth.*

Revue d'Iéna, 70, n.º 4, pág. 221.

C. D. U. 54.001 : 678.06 : 542.98 (047) 20

**Plastics media in the treatment of domestic sewage and industrial wastes** — *P. N. J. Chipperfield.*

Water Pocution controll Engeneering 69.

Vantagens deste processo sobre a filtração de tipo «biológico».

Características básicas dos materiais utilizados nos processos de filtração. Materiais susceptíveis de serem usados em aglomerados plásticos.

Técnicas práticas de desenho de aglomerados plásticos. Tratamento biológico em aglomerados de plástico. Aplicações práticas de meios plásticos na Grã-Bretanha.

C. D. U. 54.001.1 : 539.153 (045)-748

**Nuclear Overlaping of Electrons** — *J. A. Mc Millan.*

Journal of Chemical Education, 9-70, vol. 47, n.º 9, pág. 644.

C. D. U. 54.001.541.121 : 536.77 (045) 748

**Analogies between chemical and mechanical equilibria** — *S. G. Canagaratna e M. Selvaratnam.*

Journal of Chemical Education, 11-970, vol. 47, n º 11, pág 759-760.

Num breve artigo, os autores após introduzirem as noções de Equilíbrio Químico e Mecânico, ilustram, com base no princípio da energia livre de Gibbs e na lei de Hooke, a aplicação do conceito de força termodinâmica no equilíbrio químico. Por fim estendem estes conceitos a sistemas termodinâmicos.

C. D. U. 54.001.541.57.541.6 : 547 (045) 748

**Donor-Acceptor Interactions in Organic Chemistry** — *S. G. Sunderwirth.*

Journal of Chemical Education, 11-970, vol. 47, n.º 11, pág. 728-732.

O artigo sistematiza principalmente quatro tipos de reacção: substituição, adição, eliminação e rearranjo.

Os assuntos tratados são os seguintes:

— ligação química e estrutura molecular.
— reacções de substituição.
— adição.
— rearranjo do ião carbónio.

Este artigo é um valioso complemento para a cadeira de Química Orgânica Geral.

C. D. U. 54.09 : 543.25.546.91 (045) 46

**Electrodeposición de metales preceosos del grupo del platino: nuevas técnicas y utilizaciones** – *Enrique Julve.*

ION, 10-970, vol. XXX, n.º 351, pág. 563.

Neste artigo apresenta-se uma descrição detalhada dos banhos de metais do grupo da platina, considerando não só as características físicas e químicas dos recobrimentos em função da aplicação prática, mas também as mais recentes aplicações no campo industrial.

C. D. U. 541.333 : 535.34 : 545.821 : 547.339.2 (045)-437

**Integrated intensities of absorption in infrared spectra of unsaturated nitriles** — *M. Podzimková e M. Procházka.*

Czechoslovak Academy of Sciences, 6-970, vol. 35, n.º 6, pág. 1708.

C. D. U. 541.333 : 546 492.131 : 546.791 (045) – 437

**Atmospheric corrosion of uranium monocarbide, mononitride, and carbonitrides** — *A. Beňadik.*

Collection of Czechoslovak Chemical Communications, 3-970, vol. 35, n.º 3, pág. 987.

C. D. U. 541 : 541.128 : 547.412.9 : 546.74 (045) – 437

**Hydrogenolysis of saturated hydrocarbons on a nickel catalyst: Effect of preparation of nickel catalysts on the selectivity of hidrocarbon hidrogenolysis** — *K. Kochloefl and V. Bazant.*

Collection of Czechoslovak Chemical Communications, 3-970, vol. 35, n.º 3, pág. 938.

C. D. U. 541 : 546·714 : 535.34 (045) 437

**Manganese dioxide with reproductible chemi absorption properties** — *K. Kuchynka.*

Collection of Czechoslovak Chemical Communications, 3-970, vol. 35, n.º 3, pág. 984.

C. D. U. 541.11 : 536.23 : 536.48 (045) – 437

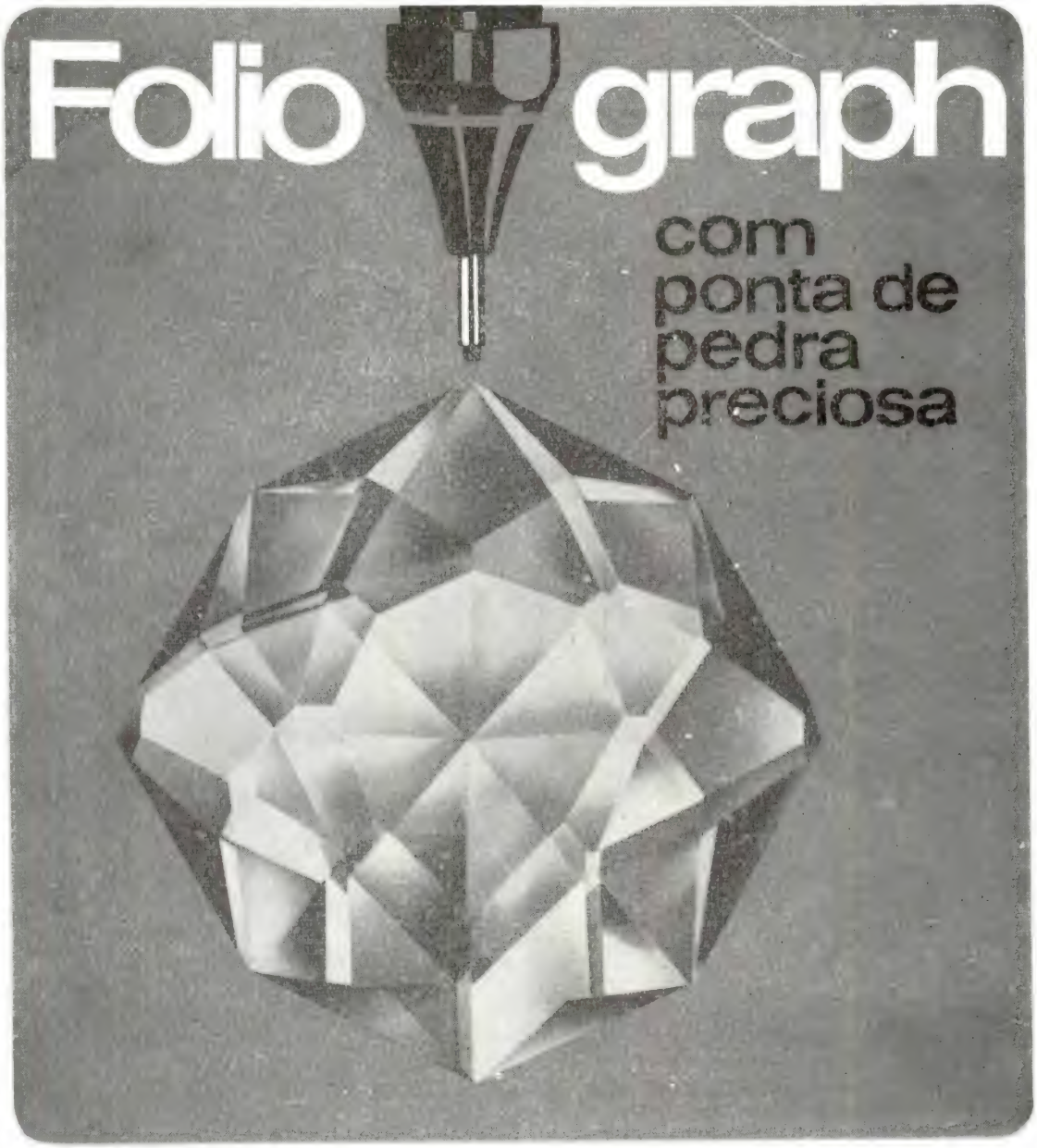
**Thermomolecular effect of gases at low temperatures** — *J. Adámev e V. Ponec.*

Collection of Czechoslovak Chemical Communications, 5-970, vol. 35, n.º 5, pág. 1473.

C. D. U. 541.111 : 621.78.062.3 = 6

**Termoquímica fundamental de las atmosferas preparadas para el tratamento térmico de los aceros** — *M. Montero.*

Rev. de Metalurgia (CENIM) 9-10-970, vol. 6, n.º 5, pág. 509.




Para sermos exactos: o primeiro instrumento para desenhar a tinta-da-china com ponta de safira e a primeira ponteira para desenhar sobre peliculas plásticas. De material à prova de acetatos — a fim de possibilitar a utilização de tintas corrosivas à base de solventes. Nas espessuras de traço entre 0,2 a 1,2 mm — conforme NP 62 e DIN 15. Num sistema intermutável — para lhe facilitar o trabalho.
Mesmo as superficies mais abrasivas das peliculas plásticas não conseguem afectar-lhe a qualidade nem, muito menos, a precisão, pois trata-se de um produto rOtring.
Anos de pesquisas e ensaios de resistência de materiais provaram que este instrumento para desenhar a tinta-da-china satisfaz todos os requisitos da moderna técnica de desenho.
E ainda: a tinta corrosiva para peliculas plásticas rOtring é a tinta ideal para a Foliograph, aplicável a todos os tipos de pelicula plástica, não alastra e seca ràpidamente.

**rOtring**

A venda
no comercio da especialidade

Representante
ARTUR WESTHEIMER, LDA.
Rua Maria dos Anjos, 48-r/c. — Lisboa - 1

Escreva-nos pedindo o prospecto n.º 9120

**rOtring**
facilita
o desenho

RB

A partir da teoria dos equilíbrios químicos estabelecem-se e estudam-se os sistemas de equações que permitem determinar as composições das atmosferas endotérmicas e exotérmicas obtidas a partir de hidrocarbonetos saturados gasosos. Apresentam-se os resultados para o caso particular do propano e gás natural.

C. D. U. 542:667.637.2 (045) 690

**Primários anticorrosivos** — *Carlos E. B. Florêncio e M. Elisabete M. de Almeida Padinha.*

Electroquímica e Corrosão, 6-12-969, n.º 42-45, pág. 17.

Generalidades sobre as tintas de protecção anticorrosiva, principalmente os primários, sua constituição, propriedades gerais mais importantes. Factores que influenciam a escolha entre os diferentes tipos de tinta.

C. D. U. 543.42 (045) . (748)

**Simultaneous Spectrophotometric Analysis of a Three--Component Mixture. An experiment for instrumental analysis** — *C. G. Harker III, J. L. Huntington, Jr, T. A. Gruber.*

Journal of Chemical Education, 10-970, vol 47, n.º 10, pág. 712.

Introduzem-se os conceitos básicos, teóricos e práticos da análise espectrofotométrica simultânea de misturas de três componentes.

C. D. U. 547.211

**Redução do ZNS pelo gás Metano** — *M. Iencio.*

Bol. Inst. Pol. «Gheorghe-Gheorghiu», 970, vol 32, n.º 4.

C. D. U. 551.311.22/23

**O problema da alterabilidade das rochas em engenharia civil** — *Ulpio Nascimento.*

LNEC — Memórias, 1970, n.º 363.

Formula-se o plano das alterabilidades das rochas em Engenharia Civil a partir dos conceitos de vida e ruína das obras. Referem-se casos típicos de alteração analisam-se os parâmetros que permitem caracterizar o estado de alteração.

C. D. U. 620.1

**Les Vibrations Verticales des Poutres Soutenues Pendulatrement sur plusieurs appuis tenant compte des effets de flambage dynamique** — *U. Cosal.*

Bol. Inst. Pol. «Gheorghe-Gheorghiu», VII VIII-70 vol. XXXII, n.º 4.

C. D. U. 620.176.5 + 621.98.08 = 4

**Amplitud a la embutición de chapas finas e medios de controlarla** — *L. Lilet y M. Wybo.*

Rev. de Metalurgia (CENIM), 9/10-70, vol. 6, n.º 5, pág. 523.

Os autores estudaram as relações que podem existir entre os valores de *r* e *n* e os ensaios de laboratório. Verificaram depois em prensas industriais a viabilidade dos critérios utilizados.

Examina-se a influência da lubrificação nos ensaios laboratoriais, e a relação entre *r* e as texturas cristalográficas. Os ensaios realizaram-se com chapas de aço macio, de zinco e de ligas de zinco.

C. D. U. 621.3.014.32
621.316 37.014 32

**Forces electrodynamiques aparaissant dans les postes électriques lors de courts-circuits** — *Gerhard Schaffer.*

Revue Brown-Boveri, 6/7/70, vol. 57, n.º 6-7, páginas 303 309.

C. D. U. 621.3.082.52:676.2.019

**Exploración fotoelectrónica de superfícies de bandas deslizantes** — *Raimar Hölter y Felix Lenzte.*

AEG-Telefunken al dia, 1969, n.º 4, pág. 150-152.

C. D. U. 621.311.163:658.261:676

**Desarollos innovadores para la producción de energia propia en fábricas de papel y celulosa** — *Viktor Rossmaier.*

AEG-Telefunken al dia, 1969, n.º 4, pág. 152-155.

C. D. U. 621.311.22

**Dix Annees d'exploitation de la Centrale Minière de Péronnes et son adaptation au Marché des Combustibles** — *Albert Muselle.*

Energie, 1-VI-70, n.º 190-191, pág. 39-51.

C. D. U. 621.314.57

**Onduleurs Statiques** — *Franz Amerin e Karl Leimgruber.*

Revue Brown-Boveri, 5-1-70, vol. 57, n.º 5, pág 227--237.

C. D. U. 621.315.5.082.74

**Determination of the electrical resistance of a superconductor in the intermediate state on the basis of its magnetic induction distribution** — *R. Freud.*

Acta Physica Polonica, 11-1969, vol. 36, n.º 5, páginas 787-789.

C. D. U. 621.316

**Utilisation optimale des réseaux d'interconnexion pour la sécurité d'alimentation en énergie électrique** — *Raymond Renchon.*

Énergie, 1º-2º-Trim.-70, n.º 190-191, pág. 27-37.

C. D. U. 621.316.7:681.624.5

**Regulador de registro para máquinas rotativas de impresión policroma** — *Raimar Hölter y Roland Nugler.*

AEG-Telefunken al dia, 1969, n.º 4, pág. 147-149.

C. D. U. 621.317.38:629.113

**Eléctronic measurement in the automobile industry** — *M. H. Westbrook.*

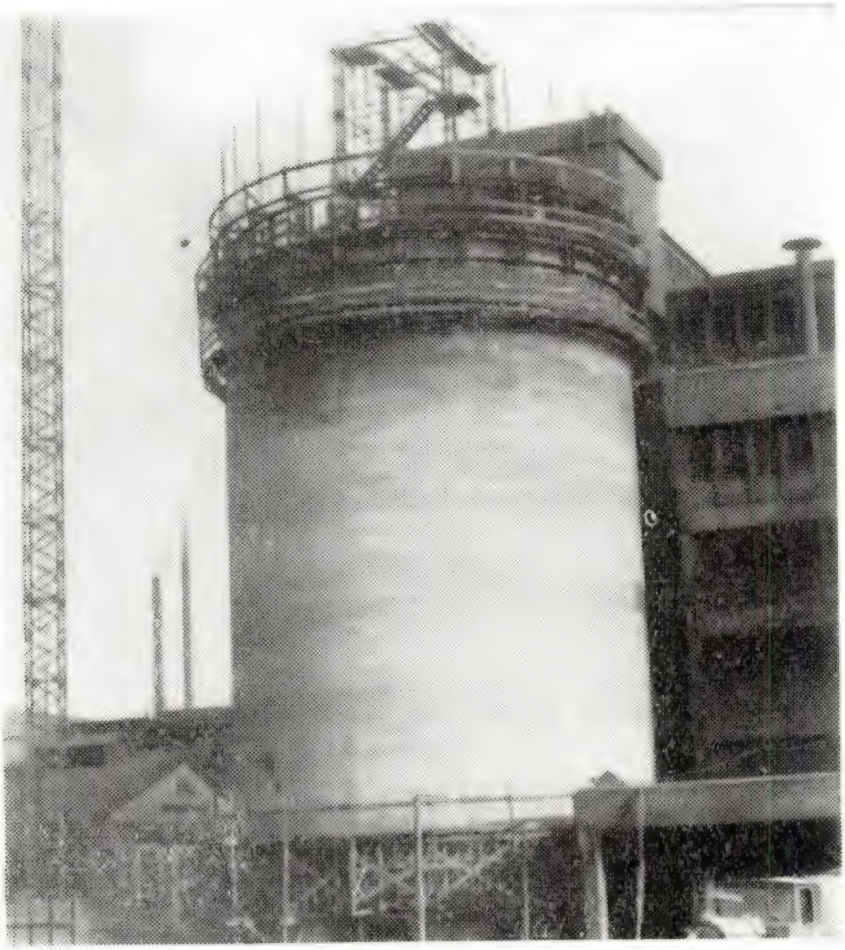
Electronics & Power, 11-70, vol. 16, n.º 11, páginas 406-410.

# ENGIL

## uma empresa que se afirma na qualidade e diversidade do que realiza

CONSTRUÇÃO CIVIL E INDUSTRIAL PONTES SILOS

Representante para o Continente e Ultramar
do sistema de cofragem deslizante «Siemcrete IN» (Patente Siemens)



Silo de cimento para a Empresa de Cimentos de Leiria
para 8000 ton. com 15 m de diâmetro e 37 m de altura
Executado com cofragem deslizante «SIEMCRETE»

ENGIL

**sociedade de construção civil sarl**

AVENIDA ELIAS GARCIA 162 – 6° LISBOA 1

C. D. U. 621.317.385

**Compteur triphasé de précision classe 1,0** — *Laue, W.; Vieweg, G.*

Rev. Siemens 29 (1971) n.º 2, pag. 93-95.

C. D. U. 621.317.7.087.61.003

**Critères de sélection d'enregistreurs rapides** — *Hederer, A.*

Rev. Siemens 29 (1971) n.º 2, pag. 86-90.

C. D. U. 621.335.2 - 833.6 : 621.316.728.076.7

**La régulation de puissance des locomotives diesel-électriques modernes** — *Lebrun J.*

Revue ACE n.º 2 (1970); pp. 35 à 44.

C. D. U. 621.337 - 621.39 : 656.25

**Le point sur les équipements de contrôle de la marche des trains** — *Mertens P.*

Revue ACEC n.º 2, 1970, pp. 13 à 22.

C. D. U. 621.374.34 : 621.335.2.024

**Le régleur de courant continu, organe de comande des véhicules moteurs à courant continu** — *Peter Knapp.*

Revue Brown-Boveri, 6-7-70, vol. 57, n.º 6/7, páginas 252-270.

C. D. U. 621.391 : 65.012.2 : 658.1.012.4

**La cybernétique et la planification du management** — *Hans Kalb.*

Rail International, Abril 70 vol. 1, n.º 4, p. 255-258.

C. D. U. 621.438

**Turbines à gás pour l'industrie** — *Bartelmann, W.*

Rev. Siemens 28 (1970) n.º 7, pages 310-313.

C. D. U. 621.81

**Méthode de détermination para o 1,4 — Di — (N,N — diméthyleaming) — 2 — Butine** — *G. R. Teodoresco.*

Bol. Inst. Pol. «Gheorghe Gheorghiu», 7-8-1970, vol. 32, n.º 4.

C. D. U. 622.01/62.001.57

**A dynamic method for the calculation of blasting patterns** — *C. Dinis da Gama.*

U. Luanda D. E. M. 1969, n.º II 1-1.

Recentes desenvolvimentos na Dinâmica das rochas tornou possível uma mais perfeita compreensão da maneira como os explosivos detonam no seio dos maciços rochosos. Um desenvolvimento do conhecimento permite hoje a previsão teórica dos factos.

C. D. U. 624.131.388 : 539 37/38

**Characterization of the deformability of rock masses by dilatometer tests** — *M. Rocha, A. Silveira, P. Rodrigues.*

LNEL Memórias, 1970, n.º 360.

A ilustrar a experiência adquirida pelo LNEC na utilização do dilatómetro, referem-se alguns resultados, tomados dos 387 ensaios já realizados com aquele aparelho, no decurso de 9 programas cobrindo uma vasta gama de interesses no domínio da E. C. Dos exemplos apresentados infere-se a fidelidade do dilatómetro, como instrumento que permite atribuir aos Maciços Rochosos um índice de casualidades.

C. D. U. 624.152.63

**Contribucion al calculo de la Estabilidad de Pantallas Ancladas** — *A. Banke e M. Ostermayer.*

Boletim Informativo do Lab. de Eng. de Angola, 5-1970, vol. 8, n.º 89, pág. 329-356.

C. D. U. 625.37

**Bayara transit system will have automated central control** — *Thomas R. Girson.*

Westinghouse Engineer, Março 1970, vol. 30, n.º 2, pág. 51-54.

Os combóios no novo sistema de trânsito rápido operarão automàticamente a velocidades superiores a 80 milhas por hora.

C. D. U. 625.41 (44) : 621.79.812

**Wagons utilisés par la S N C F, poulle transport des grands containers et des semi-remarques routières** — *J. Robert.*

Rail Internation, 1-1971, n.º 1, pág. 55-73.

C. D. U. 625.89

**Utilisation des cendres volantes en Technique routière (1.º partie)** — *M. Francis Belotins.*

Energie, 1-VII-70, n.º 190-1, pág. 55-64.

C. D. U. 65.012.4

**Crecimiento y desarollo de las técnicas de dirección** — *Salvador Estrada.*

Racionalización, 3-4-70, vol. 23, n.º 2, pág. 101-112.

C. D. U. 656.2 : 621.391

**Intérêt public de l'introduction des techniques cybernétiques avancées dens le transport Ferroviaire** — *C. D. Baker*

Rail International, Abril/70, vol. 1, n.º 4, pág. 234-238.

As empresas ferroviárias encontram actualmente grandes problemas na concorrência com outros meios de transporte.

Neste artigo passam-se em revista algumas técnicas cibernéticas capazes de contribuir para a resolução desses problemas, através da melhoria das possibilidades de dirigir sistemas cada vez maiores e mais complexas.

C. D. U. 656.2 : 621.798.12

**Intercontainer : Trois années d'expérience dans la vente des services internationanx de transport ferroviaire par transcontainers** — *G. Flechon.*

Rail Internacional, 1-1971, n.º 1, pág. 9-14.

C. D. U. 656.2 (410) : 625.241/242 : 621.798.12

**Développement des études du matériel roulant pour les marchandises, et des containers, par les Chemins de fer Britanniques** — *M. Wilcock.*

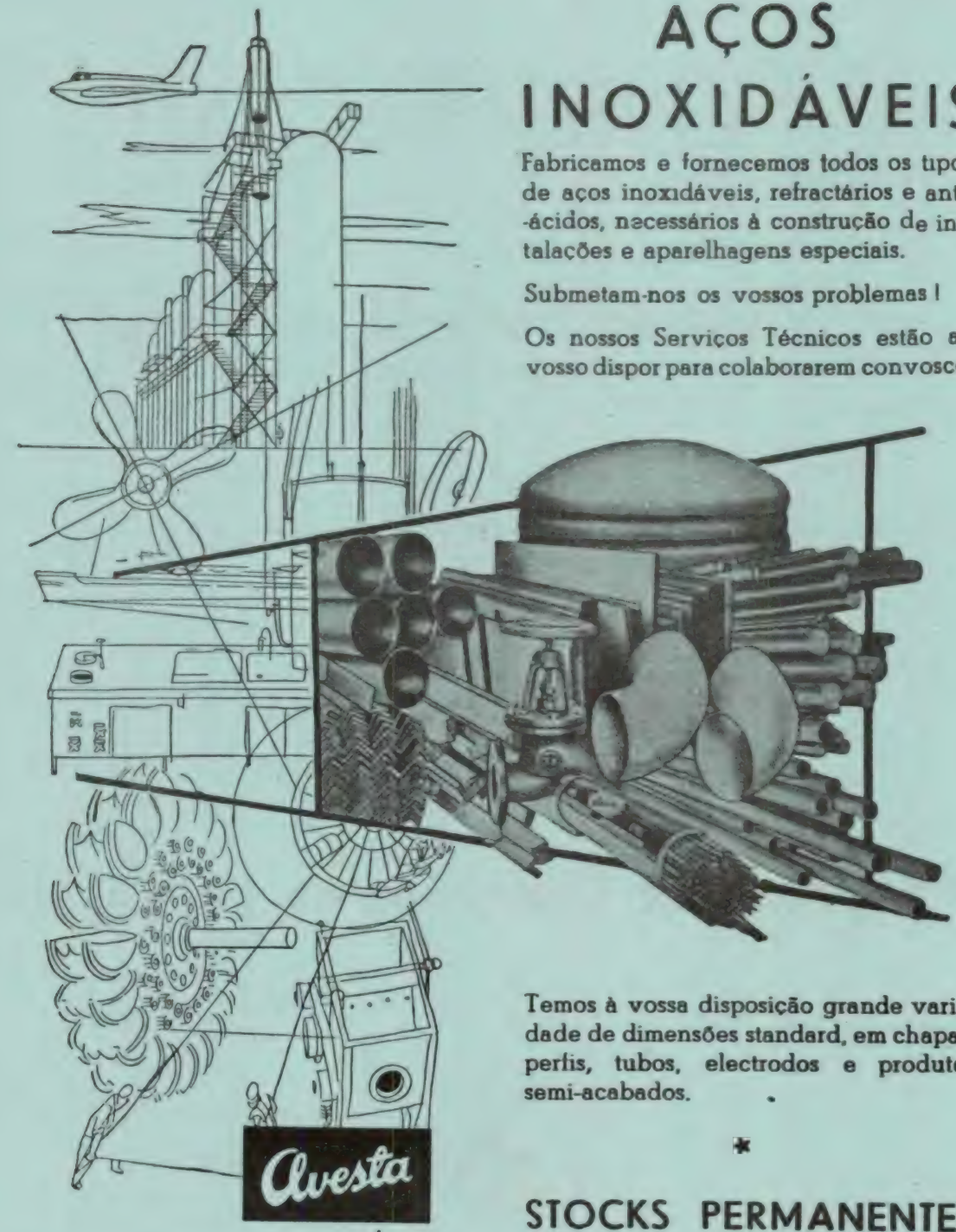
Rail internacional, 1-71, n.º 1, pág. 75-93.

# AÇOS INOXIDÁVEIS

Fabricamos e fornecemos todos os tipos de aços inoxidáveis, refractários e anti-ácidos, necessários à construção de instalações e aparelhagens especiais.

Submetam-nos os vossos problemas!

Os nossos Serviços Técnicos estão ao vosso dispor para colaborarem convosco.




Temos à vossa disposição grande variedade de dimensões standard, em chapas, perfis, tubos, electrodos e produtos semi-acabados.

*

**STOCKS PERMANENTES**

AVESTA JERNVERKS AKTIEBOLAG
AVESTA — SUÉCIA

*Representantes Exclusivos para Portugal e Ultramar:*

## A. JOHNSON & Co (PORTUGAL), L.DA

SEDE EM LISBOA:
**Praça José Fontana, 11-1.º**
*Telef. 537015-537016-537017-537018*

FILIAL NO PORTO:
**R. Dr. António Granjo, 160/168**
*Telef.* 5 4866

# SUPER-VULCANO

## (Cimento Portland de Ferro)

Aprovado pelo Decreto n.º 49 371, de 11-11-1969

um cimento de
alta qualidade
distribuído pela

## Empreza de Cimentos de Leiria, S.A.R.L.

SÍMBOLO DE QUALIDADE

aeist
secção de folhas

TRABALHOS ESCOLARES, TESES,
RELATÓRIOS, LIVROS DE CURSO,
LIVROS TÉCNICOS
IMPRESSÃO EM
OFF-SET E STENCIL

Telefone 76 33 51

TABELAS PARA O CÁLCULO
DE BETÃO ARMADO

por J.S. Brasão Farinha e Mexia Heitor

Preço 250$00

MANUAL DE HIDRAÚLICA

por Armando C. Lencastre

2.ª edição revista e actualizada

Preço 240$00

TABELAS TÉCNICAS PARA
ENGENHARIA CIVIL

6.ª edição revista e actualizada

por J.S. Brazão Farinha

Preço 200$00

PEDIDOS À «TÉCNICA»

Descontos de 10 °/₀ aos nossos assinantes

# LISTA CLASSIFICADA DE ANÚNCIOS

Neste número continua a «Técnica» a sua secção de publicidade — a *lista classificada de anúncios* — destinada a facilitar a procura por parte dos clientes.

## CONSTRUÇÃO CIVIL

### CONSTRUTORES CIVIS

— **ENGIL**
Av. Elias Garcia, 162-6.º Tel. 76 51 10/17

— **Construções Técnicas, Lda.**
P. do Município, 13-3.º — Tel. 36 65 06

— **Soc. Const. Amadeu Gaudencio, Ld.ª**
R. Dr. Alexandre Braga, 4-A — Lisboa
Telef. 4 31 91 — 92 — 93.

— **Soc. de Pré-Fabricação e Obras Gerais Novobra**
Av. Estados Unidos da América, 100-5.º D
Telef. 77 48 32 / 76 64 46 — Lisboa 5

### ESCAVADORAS E TRACTORES

— **Guedes & Almeida**
Rua Aurea, 181-2.º — Tel. 32 78 45 — Lisboa 2

### FUNDAÇÕES E SONDAGENS

— **Construções Técnicas, Lda.**
Pr. do Município, 13-3.º — Tel. 36 65 06

**Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Ld.ª**
Av. da República, 42-8.º
Telef. 77 70 86/7 e 77 12 65 — Lisboa

— **Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações**
Travessa do Guarda-Mor, 13-r/c
Tel. 32 46 93 e 21 32 56 — Lisboa — Luanda — Lourenço Marques — Beira

**Fundações Franki, Lda.**
R. Braamcamp, 13-3.º — Lisboa — Tel. 53 41 12.

— **Johann Keller**
Av. Costa Pinto, 8-1.º Esq. - Cascais - Tel. 28 44 21

— **Sondagens e Fundações, A. Cavaco, Lda.**
R. Rodrigo da Fonseca, 62-r/c — Lisboa 1
Tel. 56 11 71/72/73.

— **Sondagens Ródio**
Rua de S. Bento, 644-3.º — Lisboa
Tel 68 80 96/7/8

— **Sopecate**
R. do Arsenal, 146, 2.º — Lisboa.
Tel 3 40 10 - 32 02 08

### INSTRUMENTOS DE PRECISÃO

— **Wild Portugal, Ld.ª**
Praça das Águas Livres, 8, s/l 6 — Lisboa 2 — Tel. 68 91 12.

### ISOLAMENTO TÉRMICO E ACÚSTICO

**ISOLA**
Avenida António Augusto de Aguiar, 17-2.º
Tel- 53 71 91 — Lisboa.

## CONSTRUÇÕES METALO-MECANICAS

— **COMETNA** — R. Academia de Ciências, 5 — — Lisboa — Tel. 32 00 01

— **Construções Metalo-mecânicas MAGUE Ld.ª** — Alverca

— **SEPSA - Sociedade Construções Electro-Mecânicas** — Leça do Balio

— **Sociedade Industrial Metalúrgica**
R. de S. Tiago, 1

## EQUIPAMENTO ELECTRICO

— **Construções Eléctricas Schréder, Ltd.**
Pr. José Fontana, 25-3.º E. — Tel. 56 10 01/2/3 — Lx.

— **Electrotécnicos Reunidos**
Avenida João XXI, 64 — Lisboa.

— **Isolux, Lda.**
Largo do Campo Pequeno, 21, 4.º Esq.
Telef. 77 00 30/8/9 — Lisboa
Rua Dr. Alfredo Magalhães, 110, 2.º D.
Telef. 2 07 23 — Porto

— **J. F. de Azevedo e Silva & C.ª, Ld.ª**
Rua S. Francisco Sales, 2, 1.º — Tel. 65 41 65
Lisboa.

— **J. Roma**
Praça da Figueira, 86/51/2/3 — Lx.

— **Jayme da Costa, Ld.ª**
R. dos Correeiros, 14 — Lisboa — Tel. 32 70 35
Praça da Batalha, 12 — Porto — Tel. 2 28 12.
Cx. Postal 5174 — Luanda — Tel. 47 43.

— **Plessey Automática Eléctrica Portuguesa**
Avenida Infante D. Henrique, 333 — Lisboa.

— **Philips**
Rua Joaquim António de Aguiar, 66 — Lisboa
Telef. 68 31 21

— **Siemens — Companhia de Electricidade**
Avenida Almirante Reis, 65
Telef. 53 69 21/0 — Lisboa

— **Soc. de Elec. Brown Boveri**
Rua Sá da Bandeira, 481-2.º
Telef 2 34 11 — Porto

— **SEPSA-Sociedade Construções Electro-Mecânicas** — Leça do Balio

— **Standard Electrica**
Av. da Índia — Tel. 63 81 71 — Lx.

### DISTRIBUIÇAO DE ENERGIA

— **União Eléctrica Portuguesa**
R. Alexandre Herculano, 244 — Porto
Tel. 2 76 76/9
Rua Rosa Araújo, 35
Lisboa — Telef. 53 11 81/7

BATERIAS

— **Tudor**
Av. Fontes Pereira de Melo, 12 — Lisboa
Tel. 5 19 47

COMPUTADORES

— **Time — Sharing, S.A.R.L.**
Av. 5 de Outubro, 95-3.º — Tel. 76 95 51 — Lisboa

ELÉCTRODOS

— **Electro-Arco, Ld.ª**
R. Silva Carvalho, 230 — Lisboa — Tel. 68 36 46
R. do Bolhão, 216 — Porto — Tel. 2 12 77.

ISOLAMENTOS

— **Empresa Electro-Cerâmica, S.A.R.L.**
L. Barão de Quintela.

SOLDADURAS

— **Electro Arco**
R. Silva Carvalho, 239 — Lisboa
R. do Bolhão, 216 — Porto

— **J. Roma**
Praça da Figueira, 86/51/2/3 — Lisboa

TELECOMUNICAÇÕES

— **Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos, S.A.R.L.**
R. Rodrigo da Fonseca, 110, r/c — Lisboa — Tel. 68 60 72.
R. Sá da Bandeira, 766-1.º E — Porto — Tel. 2 48 18

— **Standard Electrica**
Av. Índia — Tel. 63 81 71 — Lisboa

— **Philips**
Rua Joaquim António de Aguiar, 66 — Lisboa
Tel. 68 31 21

— **Plessey Automática Eléctrica Portuguesa**
Avenida Infante D. Henrique, 333 — Lisboa.

## EQUIPAMENTO INDUSTRIAL

— **COMETNA**
R. Academia de Ciências, 5 — Tel. 32 00 11

— **Construções Metalo-Mecânicas Mague, Lda.** — Alverca do Ribatejo

— **Guedes & Almeida, Lda,**
R. Aurea, 181-2.º — Tel. 32 78 45 — Lisboa

— **Sociedade Comercial Romar**
Rua da Boavista, 83-1.º — Lisboa

— **Sociedade Portuguesa Ar Líquido**
Quinta do Almargem — Junqueira — Lisboa

CORRENTES

— **Auto-Lusitana**
Av. da Liberdade, 73-79 — Lisboa

— **Harker Sumner**
L. do Corpo Santo, 18 — Tel. 32 48 23 — Lisboa

— **S. K. F.**
Rua da Alegria, 66-A — Lisboa — Tel. 36 23 01

## INDÚSTRIAS QUÍMICAS

GASOLINAS E ÓLEOS

— **Mobil Oil**

TÉXTEIS

— **FANAFEL — Fábrica Nacional de Feltros Industriais, Ld.ª**
Estrada de S. João — Ovar.

## LIVROS TÉCNICOS

— **TÉCNICA**
Avenida Rovisco Pais — Lisboa
Tel. 77 54 49

## MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

AÇOS ESPECIAIS

— **A. Johnson & C.ª (Portugal), Ld.ª**
P. José Fontana, 11-1.º — Lisboa — Tel. 53 70 15/ /6/7/8.
R. Dr. António Granjo, 160/168-Porto-Tel. 5 46 69

— **Heliaço**
R. S. Julião, 41-4.º — Tel. 36 78 17 — Lisboa

BETÃO

— **Empresa Cimentos de Leiria**
R. Braamcamp, 7 — Lisboa. — Tel. 5 91 61/66.

— **Jomatel**
Rua Sampaio Pina, 1-5.º — Lisboa — Tel. 65 41 21

— **Sociedade Portuguesa CAVAN**
R. de D. Estefânia, 94-A — Lisboa — Tel. 4 78 12 e 5 01 29.

CIMENTOS

— **AGUIAR E MELO, LDA.**
Praça do Município, 13-1.º — Tel. 32 11 51/2 Lx.

— **CIBRA — Cimentos Brancos**
Tv. do Corpo Santo, 15 — Lisboa — Tel. 32 04 64.
R. do Bonjardim, 205 — Porto — Tel. 2 57 79.
**Empresa de Cimentos de Leiria**
R. Braamcamp, 7 — Lisboa — Tel. 5 91 61/66.

— **Secil**
R. do Comércio, 156—Lisboa 2 —Tel. 32 82 01 2 3

MATERIAIS PRÉ ESFORÇADOS

— **CIMIANTO**
Av. Fontes Pereira de Melo, 14 — Tel. 53 11 61

— **Heliaço**
R. S. Julião, 41-4.º — Tel. 36 78 17 — Lisboa.

— **Soc. de Pré-fabricação e Obras Gerais Novobra, Ld.ª**
Av. E. U. da América, 100-5.º-E.
Tel. 77 48 32/ 76 64 46 — Lisboa.

## ARTIGOS DE ESCRITÓRIO E ESCOLAR

MATERIAL DE DESENHO E TOPOGRÁFICO

— **Rotring — Arthur Westheimer**
R. Maria aos Anjos, 48-r/c. — Lisboa

— **Wild Portugal**
Praça das Águas Livres, 8-s/l.
Tel. 98 91 12 — Lisboa.

# Empresa de Sondagens e Fundações

# TEIXEIRA DUARTE, L.DA

AV. DA REPÚBLICA, 42, 8.º
TELEFS. 77 70 86/7 e 77 12 65

**LISBOA**

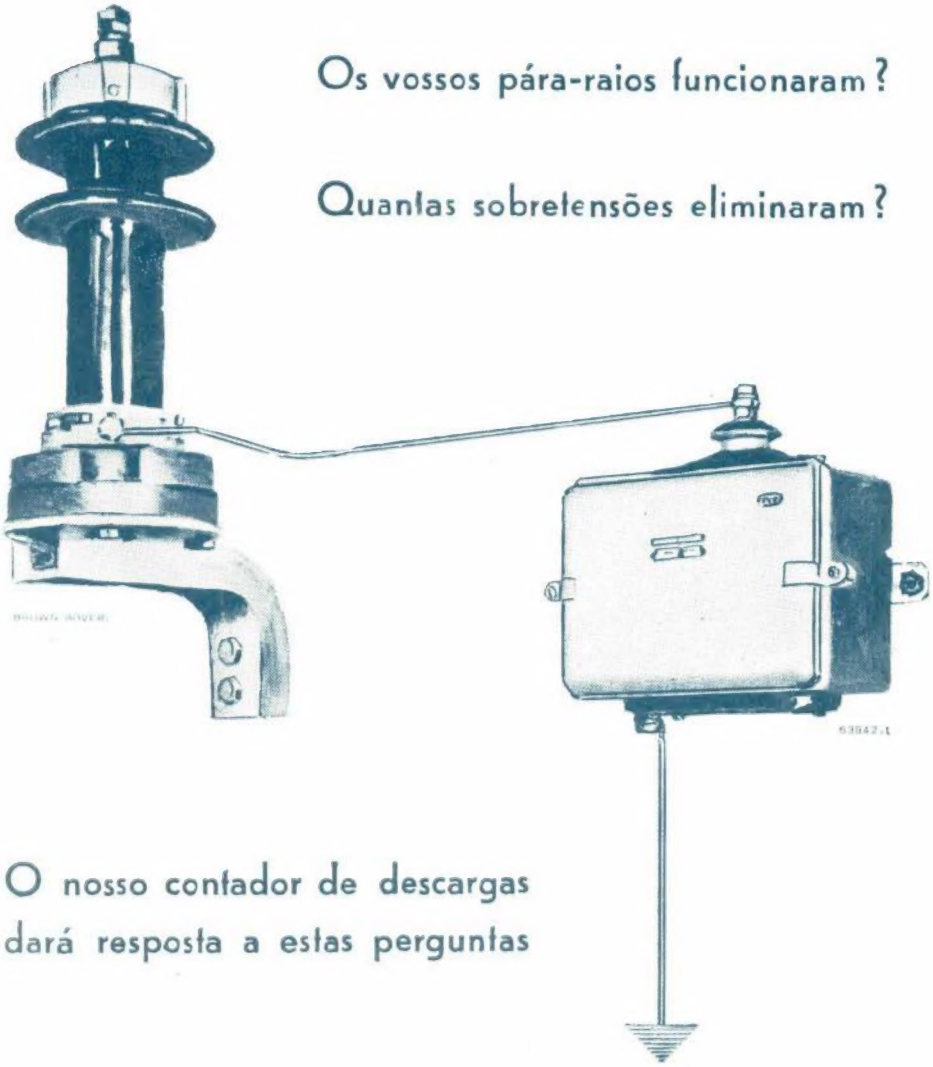
BROWN BOVERI

# Pára-raios

# Contadores de descargas

Os vossos pára-raios funcionaram?

Quantas sobretensões eliminaram?



O nosso contador de descargas dará resposta a estas perguntas

Para cada problema de protecção, os nossos Serviços Técnicos podem indicar a solução mais apropriada

SOC. DE ELECT. BROWN BOVERI, LDA.

RUA DE SÁ DA BANDEIRA – 481-2.º TEL. 23411-PORTO